

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**CARACTERIZACION DE LA REACCION AL
FUEGO EN MATERIALES USANDO TECNICAS
LÁSER**

AUTOR: Alejandro Ochoa Salvador
DIRECTOR: Marco Antonio Álvarez Valenzuela

Septiembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto final de carrera no hubiese sido posible sin la ayuda y apoyo de todas las personas que rodean mi vida, ayudándome, apoyándome en los momentos difíciles y haciendo de mí la persona que soy hoy.

En primer lugar, me gustaría comenzar agradeciendo a mi tutor, Marco Álvarez Valenzuela, el esfuerzo que ha realizado conmigo. Gracias por tu tiempo y por darme la oportunidad de desarrollar esta investigación bajo tu dirección. Ha sido un verdadero placer poder trabajar contigo. Tengo que agradecerte todas las horas que has dedicado a ayudarme en la realización de este proyecto.

Debo agradecer a todas las personas y empresas que me han facilitado ayuda, sobre todo en la primera fase de búsqueda de materiales, sin ellos esa tarea hubiese sido mucho más ardua.

A mi familia, que siempre han estado ahí cuando los he necesitado, dándome cariño y enseñándome a ser mejor persona siempre. Muchas gracias.

A mis padres y a mi hermana, a ellos les debo todo. Sin ellos nunca estaría donde estoy hoy. Gracias por haber hecho de mí la persona que soy ahora. No podría haber tenido más suerte con vosotros, siempre habéis velado por mí y habéis hecho todos los sacrificios posibles para conseguir que fuese feliz antes, ahora y siempre.

Pero sin duda, la persona que más ha compartido conmigo este esfuerzo, que más me ha apoyado y ayudado es Bea. Sin ti nada de esto hubiese sido posible. Me has regalado tu sonrisa y tu compañía durante estos últimos y maravillosos 6 años sin pedirme nada a cambio. He tenido la inmensa suerte de haberte conocido y espero poder devolverte algún día todo lo que me has dado. De todo corazón, muchas gracias.

A todos los que menciono y a los que me olvido, GRACIAS.

“La mayor sabiduría que existe es conocerse a uno mismo”

“Vale más saber alguna cosa de todo, que saberlo todo de una sola cosa”

Resumen

En este proyecto de fin de carrera se ha llevado a cabo la elaboración de un método para obtener la reacción al fuego de materiales mediante el uso de un láser de CO₂.

En primer lugar se expone una introducción describiendo la situación actual del sistema de clasificación europeo explicando la importancia del mismo y la relevancia de este estudio. En él se explican los métodos de clasificación existentes y la normativa que los rige. Además se incluye una breve descripción del equipo utilizado.

A continuación se recopilan los materiales a utilizar en el estudio y se elabora el proceso experimental a seguir.

Una vez reunida la información necesaria y adquiridos los materiales, se proponen una serie de ensayos. En ellos se realiza todo el proceso experimental de ejecución, recopilación y análisis de los datos para poder decidir cual será el siguiente paso a realizar.

Una vez realizados los ensayos suficientes para obtener unas conclusiones, se proponen en las líneas futuras de trabajo las posibles mejoras a las deficiencias que el método pueda mostrar.

Contenidos

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	3
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 DESARROLLO DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN (EL SISTEMA EUROPEO).....	4
1.2 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LÁSER.....	14
1.2.1 <i>Interacción Láser-Materia</i>	17
1.2.2 <i>Funcionamiento de un láser de CO2</i>	19
2 PROCESO EXPERIMENTAL	21
2.1 MATERIALES	21
2.1.1 <i>Materiales Clase A1</i>	25
2.1.2 <i>Materiales Clase A2</i>	26
2.1.3 <i>Materiales Clase B</i>	26
2.1.4 <i>Materiales Clase C</i>	26
2.1.5 <i>Materiales Clase D</i>	27
2.1.6 <i>Materiales Clase M2</i>	27
2.2 ETAPAS DEL PROCESO	28
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
3.1 PRIMER ENSAYO: ENSAYOS PRELIMINARES.	35
3.2 SEGUNDO ENSAYO: COMPARACIÓN DE PARÁMETROS.	41
3.3 TERCER ENSAYO: ESTUDIO DE LA ZONA AFECTADA POR EL LÁSER.	47
3.4 CUARTO ENSAYO: MEDICIÓN DEL ANCHO.....	52
3.5 QUINTO ENSAYO: MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD.	55
3.5.1 <i>Materiales Clase A.</i>	55
3.5.2 <i>Materiales Clase C.</i>	58
3.5.3 <i>Materiales Clase D.</i>	61
3.5.4 <i>Resultados finales.</i>	63
4 CONCLUSIONES	65
5 LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO	66
6 REFERENCIAS.....	67
ANEXO I: FICHAS TÉCNICAS.....	71

Índice de tablas

Tabla 1: Equivalencia clasificaciones Europea	6
Tabla 2: Ensayos para la clasificación en paredes y techos	6
Tabla 3: Subclases para los materiales de paredes y techos	7
Tabla 4: Ensayos para la clasificación de suelos	7
Tabla 5: Subclase para los materiales de suelos	7
Tabla 6: Clases de comportamiento de reacción al fuego para productos de construcción, excluidos revestimientos de suelos. [1]	12
Tabla 7: Clases de comportamiento de reacción al fuego para revestimientos de suelos. [1]	13
Tabla 8: Historia del láser	16
Tabla 9: Resumen Materiales 1/5	21
Tabla 10: Resumen Materiales 2/5	22
Tabla 11: Resumen Materiales 3/5	23
Tabla 12: Resumen Materiales 4/5	24
Tabla 13: Resumen Materiales 5/5	25
Tabla 14: Especificaciones láser	29
Tabla 15: Recopilación pruebas 1/3	32
Tabla 16: Recopilación pruebas 2/3	33
Tabla 17: Recopilación pruebas 3/3	34
Tabla 18: Parámetros láser primer ensayo	35
Tabla 19: Recopilación imágenes primer ensayo 1/4	36
Tabla 20: Recopilación imágenes primer ensayo 2/4	37
Tabla 21: Recopilación imágenes primer ensayo 3/4	38
Tabla 22: Recopilación imágenes primer ensayo 4/4	39
Tabla 23: Resumen pruebas segundo ensayo	41
Tabla 24: Recopilación imágenes segundo ensayo 1/4	42
Tabla 25: Recopilación imágenes segundo ensayo 2/4	43
Tabla 26: Recopilación imágenes segundo ensayo 3/4	44
Tabla 27: Recopilación imágenes segundo ensayo 4/4	45
Tabla 28: Parámetros láser tercer ensayo	47
Tabla 29: Recopilación imágenes tercer ensayo 1/4	48
Tabla 30: Recopilación imágenes tercer ensayo 2/4	49
Tabla 31: Recopilación imágenes tercer ensayo 3/4	50
Tabla 32: Recopilación imágenes tercer ensayo 4/4	51
Tabla 33: Parámetros láser ensayos cuarto y quinto	52
Tabla 34: Datos anchos	52
Tabla 35: Recopilación imágenes cuarto ensayo	53
Tabla 36: Recopilación imágenes quinto ensayo Clase A	56
Tabla 37: Datos Profundidades clase A.	57
Tabla 38: Datos Profundidades clase C	58
Tabla 39: Recopilación imágenes quinto ensayo Clase C	59
Tabla 40: Datos Profundidades clase D.	61
Tabla 41: Recopilación imágenes quinto ensayo Clase D	61

Índice de figuras

Fig. 1: Horno ensayo resistencia al fuego.....	4
Fig. 2: Marco normativo previo	5
Fig. 3: HRR frente a tiempo	8
Fig. 4: Esquema del ensayo SBI.....	9
Fig. 5: Esquema "Room Corner test"	10
Fig. 6: Albert Einstein (izq) y T.H. Maiman (der).....	15
Fig. 7: Interacción del haz láser incidente con la superficie sólida del material irradiado. [35].....	17
Fig. 8: Esquema equipo. [36]	19
Fig. 9: Esquema Duty Cycle, PP y PW.	20
Fig. 10: Etapas del proceso	28
Fig. 11: Medida del ancho	54
Fig. 12: Medida de la profundidad. Clase A.....	57
Fig. 13: Medida de la profundidad. Clase C.....	60
Fig. 14: Medida de la profundidad. Clase D.....	62
Fig. 15: Medida de la profundidad	63
Fig. 16: Sectorización de las distintas clases.....	64

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

El presente documento viene motivado por la importancia que genera el conocimiento sobre el fuego y todo cuanto lo rodea. El fuego tiene una enorme presencia en la vida cotidiana, en distintas industrias tales como la automovilística, la aeronáutica, alimentaria, siderúrgicas o en muchos aspectos de la vida diaria como calentar e iluminar. Pero no siempre es deseado, cuando se produce de manera fortuita provocando un incendio, ya sea forestal o urbano, y se ponen en peligros vidas y bienes materiales. El tener conocimientos sobre el fuego y como combatirlo y evitarlo es crucial. Una parte de estos conocimientos reside en la interacción del fuego con los distintos materiales y como se comportan en la presencia del fuego.

La motivación de este estudio recae en este comportamiento que presentan los materiales cuando son expuestos al fuego. Este comportamiento no solo es importante para poder realizar de la mejor manera posible procesos industriales en los cuales haya presencia de fuego, sino mas importante aun, es la protección de la vidas y los bienes derivados de los riesgos asociados al fuego.

El **objetivo general** del proyecto es estudiar la posibilidad de la elaboración de un método para obtener la reacción al fuego de materiales mediante el uso de un láser de CO₂. Con esto se busca la viabilidad de un método alternativo a los existentes, el cual sería una alternativa de ensayo no-destructivo a escala macroscopica en contraste con todos los existentes que son destructivos [1].

Se pretende realizar algo novedoso, debido a que no existe ningún estudio previo que relacione la tecnología láser junto con el estudio y la protección frente al fuego.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Desarrollo del sistema de clasificación (El sistema europeo)

El desarrollo del actual sistema europeo de clasificación del comportamiento de los materiales frente al fuego comienza a finales de 1987, es aquí cuando el CEN/BT crea el CEN/TC 127 Fire Safety in Buildings, cuya secretaria ostenta el BSI, con el encargo de crear la normas europeas unificadas que sirvieran para ensayar los materiales y elementos de construcción al fuego, de manera que los niveles de seguridad contra incendios en la construcción fueran los mismos en toda la UE. Su primera reunión tuvo lugar en la Green House, en Londres, en Abril de 1988 [2].

En el año 2000, esta directiva da lugar a dos directivas, una de ellas trata sobre la resistencia al fuego de los materiales, y la otra sobre la reacción al fuego de los materiales.

En este punto conviene una aclaración, resistencia y reacción son dos cosas diferentes. La resistencia al fuego de un material no tiene sentido por si sola, cuando se habla de resistencia al fuego se ha de tener en cuenta una estructura completa. En la Fig. 1 se puede apreciar el horno que se usa para los ensayo de resistencia al fuego [3]. Es en la parte posterior de la imagen donde se monta la estructura a ensayar, un ejemplo seria una pared de ladrillos con cemento y un mortero ignifugo de recubrimiento.

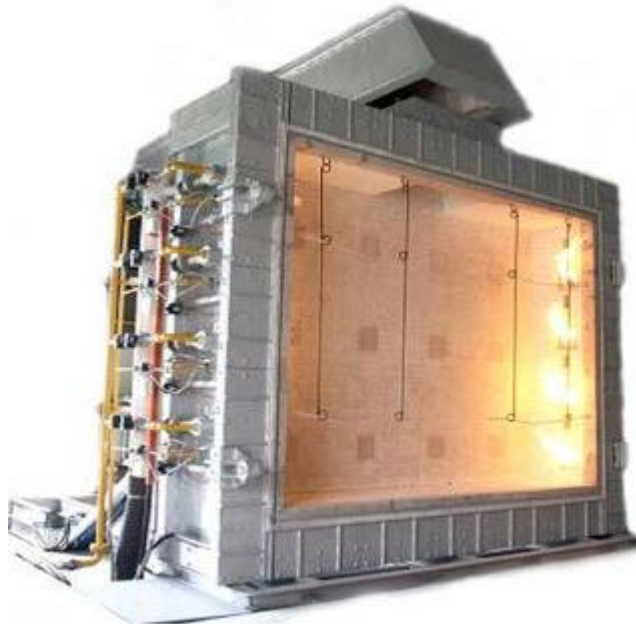


Fig. 1: Horno ensayo resistencia al fuego.

www.masterfuego.com

Esta norma refleja la Decisión de la Comisión del 3 de mayo de 2000 sobre la implantación de la Directiva del Consejo 89/106/CEE relativa a la clasificación de los productos de construcción, de la obras y de las partes de estas, según su comportamiento de resistencia

al fuego. Con esta norma y sus ensayos se busca obtener una serie de parámetros como: la capacidad portante, integridad y aislamiento como parámetros principales. Además en función del caso específico en que se este, se puede ensayar también radiación, acción mecánica, cierre automático, continuidad de alimentación eléctrica, resistencia al fuego de hollín, etc.

Los ensayos evalúan estos parámetros temporalmente en función de su resistencia al fuego, esto se traduce en el tiempo que la estructura mantiene estas propiedades mientras está afectada por el fuego [3].

Ha de quedar claro que la resistencia no es sobre lo que se trata en este documento y no ha de ser confundida con la reacción.

La reacción por su parte estudia el comportamiento frente al fuego de un único material aisladamente, sin formar parte de una estructura ni componente. Se evalúan tres parámetros: contribución al fuego, generación de humos y caída de gotas inflamables. El primero de ellos es el parámetro principal, mientras que los otros dos son subclases, las cuales no siempre son necesarias. Esta norma refleja la Decisión de la Comisión del 8 de febrero del 2000 por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo en lo que respecta a la clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción.

Anterior a esto, como se puede observar en la Fig. 2, existía una serie de normativas nacionales, las cuales poseían su propia clasificación.

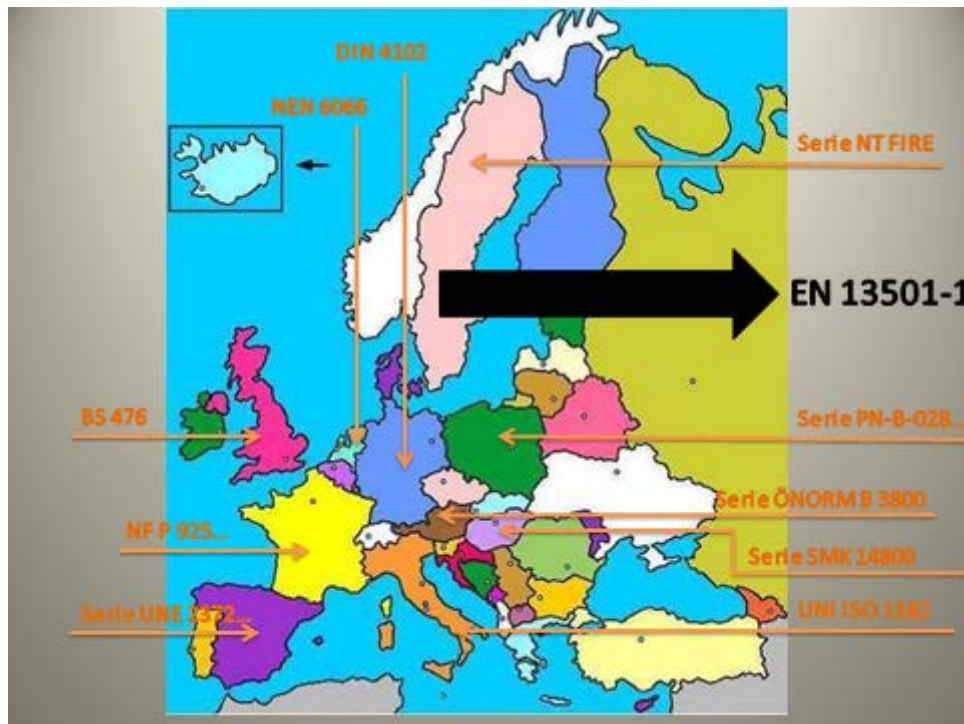


Fig. 2: Marco normativo previo

Debido a la no retroactividad de las leyes, cuando apareció la norma EN 13501-1, existían infinidad de materiales ya clasificados, muchos de los cuales estaban clasificados en cada uno de los países. Para poder adaptarse a la nueva normativa se creó la siguiente tabla (ver más adelante).

Contribución a la propagación del fuego	No-Contribuye	Casi sin Contribución	Muy limitada	Limitada	Media	Alta
EUROCLASES	A1	A2	B	C	D	E
AUT	A	A	B1	B1	B2	B3
BEL	A0	A1	A2	A3-A4	A3-A4	A4
FIN	1/I	1/I	1/I	1/II	1/-	U
FRA	M0	M0	M1	M2	M3	M4
GER	A1	A2	B1	B2	B2	B3
IRE	0	0	0/1	1	3	4
ITA	NC	0	1	2	3	4
NL	NC	1	2	3	4	5
NO	In1	In1	In1	In2	In2	U
POR	M0	M0	M1	M2	M3	M4
SK	A	B	B	B	C2	C3
ESP	M0	M0	M1	M2	M3	M4
SWE	I	I	I	II	III	IV
UK	0	0	0-1	1	3	4
USA	NC	-	A	B	C	D

Tabla 1: Equivalencia clasificaciones Europea

Esta tabla no existió oficialmente, solo apareció una pequeña parte para cada país, en la cual se mostraba su clasificación y la equivalencia con la norma. Esta tabla fue buscada durante muchos años por los problemas que existían entre las normativas de los distintos países y que dificultaban mucho el trabajo internacional.

Para la evaluación de los parámetros existen una serie de ensayos normalizados que, dependiendo de la clasificación, se realizara uno u otro. Además se hace existe una diferenciación entre paredes, techos y suelos. Se considera que paredes y techos son un grupo de mayor riesgo debido a la dinámica del fuego y por ello en alguno de los ensayos se les demanda mayores exigencias. Los ensayos son los mismos, a excepción del ensayo UNE-EN ISO 9239-1, el cual solo se aplica para suelos. En las siguientes tablas todo esto queda esquematizado.

EUROCLASES	METODOS DE ENSAYOS ARMONIZADOS			
PAREDES Y TECHOS	Medida del PCS	Horno de no combustibilidad	SBI	Llama Pequeña
	UNE-EN ISO 1716	UNE-EN ISO 1182	UNE-EN 13823	UNE-EN ISO 11925-2
A1				
A2				
B				
C				
D				
E				
F				

Tabla 2: Ensayos para la clasificación en paredes y techos

EUROCLASES	A1	A2	B	C	D	E	F
Parámetro de opacidad de humos (s)							
Parámetro de caída de gotas inflamadas (d)							

Tabla 3: Subclases para los materiales de paredes y techos

EUROCLASES	METODOS DE ENSAYOS ARMONIZADOS			
SUELOS	Medida del PCS	Horno de no combustibilidad	Panel Radiante	Llama Pequeña
	UNE-EN ISO 1716	UNE-EN ISO 1182	UNE-EN ISO 9239-1	UNE-EN ISO 11925
A1_{FL}				
A2_{FL}				
B_{FL}				
C_{FL}				
D_{FL}				
E_{FL}				
F_{FL}				

Tabla 4: Ensayos para la clasificación de suelos

EUROCLASES	A1 _{FL}	A2 _{FL}	B _{FL}	C _{FL}	D _{FL}	E _{FL}	F _{FL}
Parámetro de opacidad de humos (s)							

Tabla 5: Subclase para los materiales de suelos

Se pueden apreciar las similitudes existentes entre los dos grupos los cuales son muy parejos a excepción del cambio en el ensayo SBI [4] para paredes y techos, que se cambia por el Panel Radiante para suelos [5]. También cabe destacar que no tiene sentido el parámetro de caída de gotas en suelos y por ello no se ensaya.

Cabe mencionar la existencia de normativas propias para la clasificación de cables, aislamientos térmicos de tuberías y productos textiles. Se hace una breve descripción de las mismas más adelante pero se ha de destacar que ninguna de las probetas ensayadas pertenece a estos grupos.

Lo primero a tener en cuenta en relación al sistema de clasificación del fuego es el parámetro HRR “*Heat Release Rate*” (o tasa de liberación de calor). Este parámetro mide la velocidad a la que las reacciones de combustión liberan calor. El conocimiento de HRR es fundamental para la evaluación de material. Es una medida difícil de realizar que depende del espesor de la pieza, las propiedades físico-químicas del material, flujo de calor sobre la muestra y otra serie de parámetro [2, 6, 7]. Se muestra un ejemplo ilustrativo en la Fig. 3.

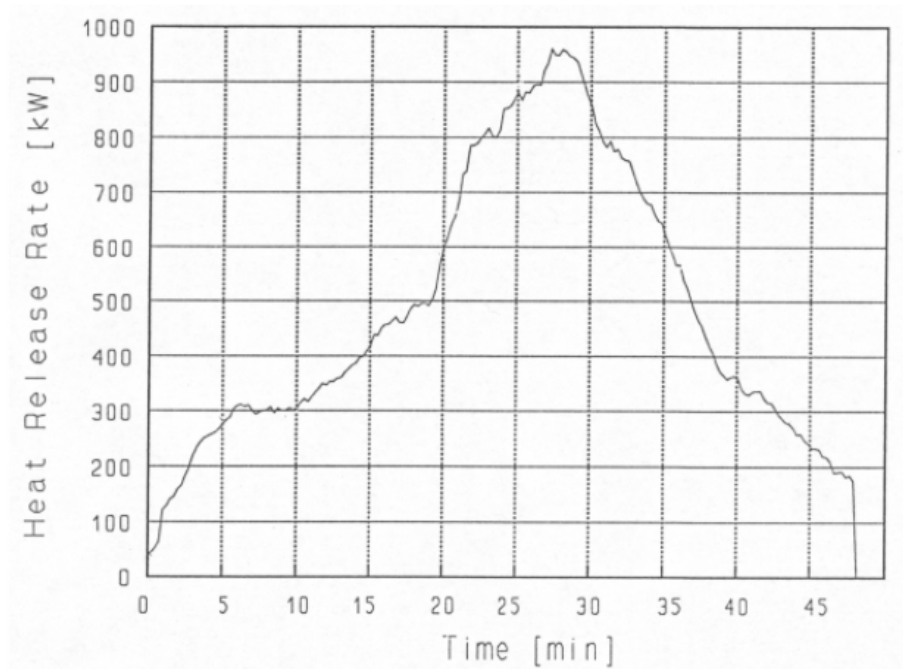


Fig. 3: HRR frente a tiempo

www.masterfuego.com

Otro parámetro a tener en cuenta en relación al sistema de clasificación del fuego es el FIGRA “Fire Growth Rate”. FIGRA es una forma de interpretar los datos de las pruebas para la clasificación de productos frente a incendios y la evaluación de riesgos. FIGRA es usado para productos de la construcción como parte de la verificación para el marcado CE. Los valores de FIGRA se calculan usando los datos del ensayo SBI “Single Burning Item” (Fig. 4), para el revestimiento de superficies [4].

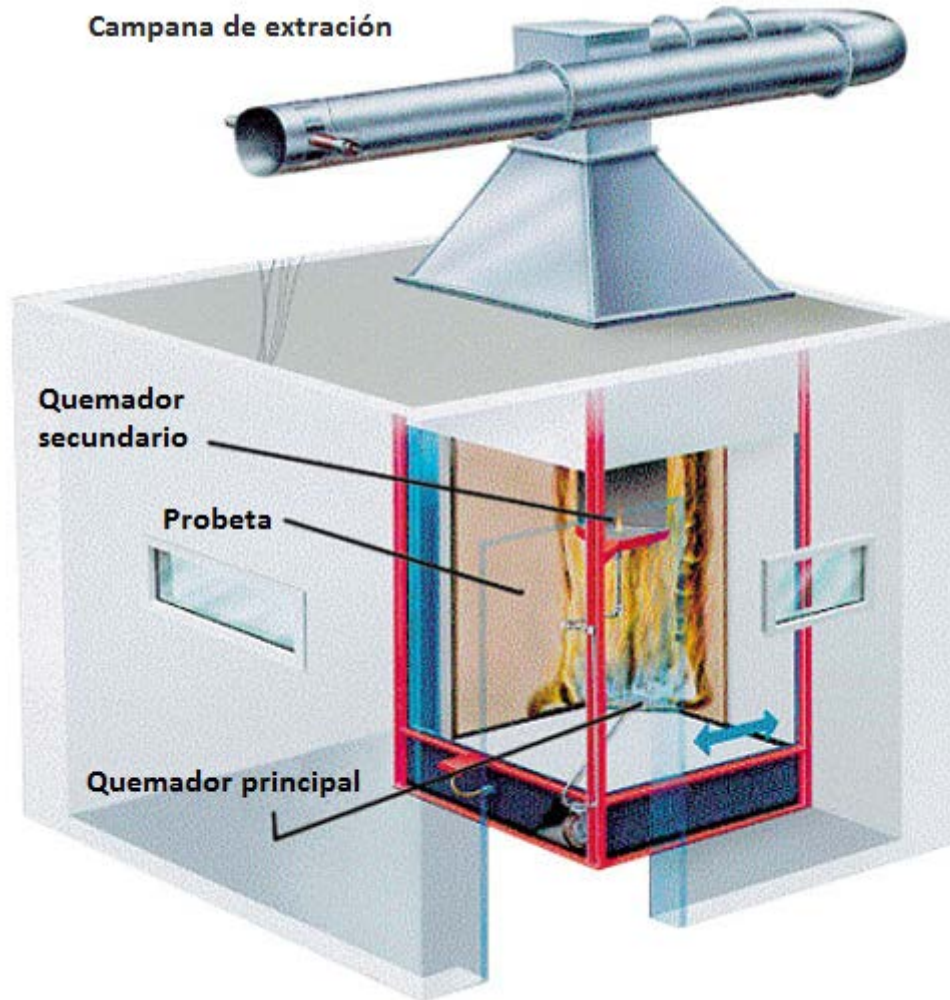


Fig. 4: Esquema del ensayo SBI

www.armacell.com

El parámetro FIGRA fue desarrollado en el proyecto denominado SBI el cual fue presentado por primera vez a la Comisión Europea en 1998 [8, 9]. Fue publicado con posterioridad en las referencias [10, 11, 12]. En la actualidad FIGRA ha sido introducido en la regulación de cerca de 30 países, entre ellos, los estados miembros de la Unión Europea y países con acuerdos con la UE como por ejemplo Noruega y Suiza.

La Comisión Europea publicó el sistema de evaluación para el aislamiento de tuberías en el año 2003. El ensayo "Room Corner" (Fig. 5) se establece como el escenario de referencia para los aislamientos de tuberías. Los límites para la clasificación del FIGRA fueron implantados a partir de un gran número de pruebas y ensayos en ese escenario [13, 14].

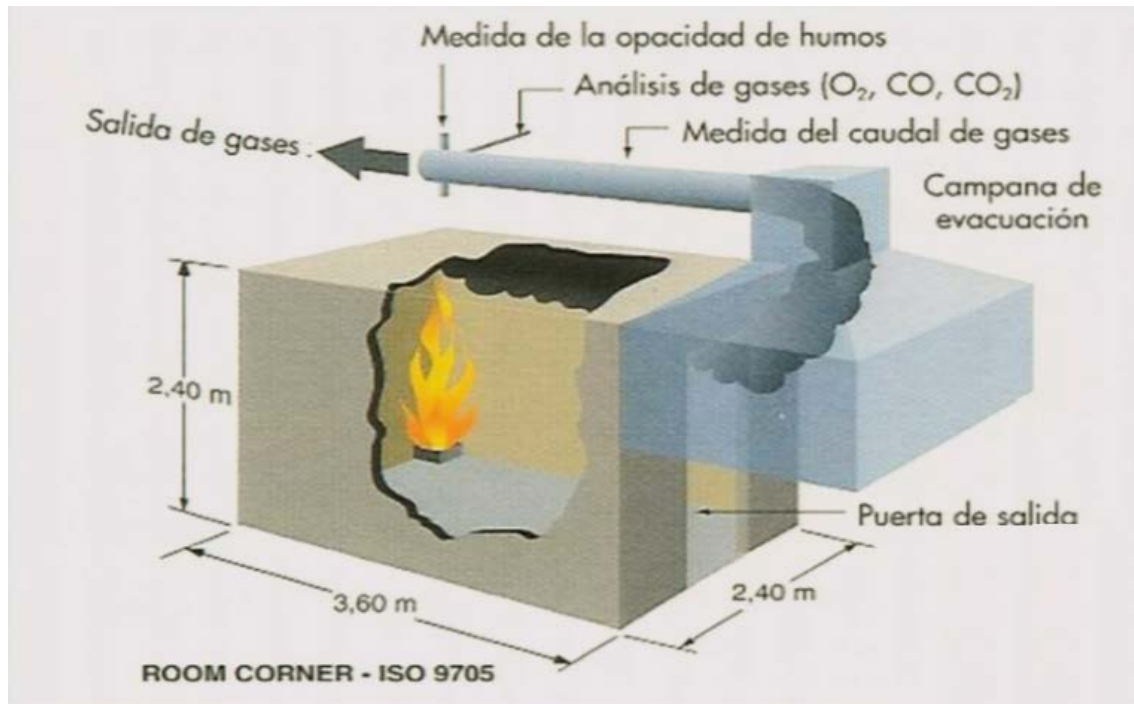


Fig. 5: Esquema "Room Corner test"

www.masterfuego.com

El desarrollo de la propuesta de clasificar la reacción al fuego de cables se hizo a petición de la Comisión Europea. El trabajo fundamental que hizo esto posible fue el proyecto denominado FIPEC [15]. Expertos de SP en colaboración con la Industria Europea del Cable (Europacable) desarrollaron la propuesta final [16]. De nuevo, se volvió al uso práctico de FIGRA por una decisión de la Comisión Europea en Octubre de 2006.

Los datos del ensayo "Room Corner" están relacionados con el balance de energía en una habitación tales como: la temperatura, la exposición al calor y la propagación de la llama. Muchos de ellos provienen del trabajo presentado en SP-report 1986:45 [17].

También se pueden encontrar muchos otros datos en el proyecto EUREFIC [18] donde pruebas con productos similares se realizaron en las clasificaciones nacionales de países como Alemania, Reino Unido, Francia e Italia y en los ensayos de la ASTM "American Society for Testing and Materials" sobre la propagación de llama en superficies, el cono calorimétrico, el "Room Corner" y las pruebas de gran escala.

El parámetro de clasificación FIGRA "Fire Growth Rate", fue utilizado por primera vez en 1998 como una vía para la clasificación de las propiedades frente al fuego de los productos de la construcción por la propuesta realizado por el CPD "Construction Products Directive" [19, 20]. El parámetro FIGRA es específico por dos razones:

1. Predice el comportamiento de la combustión de una gran variedad de productos para la construcción en escenarios de referencia. Estos escenarios están a su vez relacionados con situaciones reales.

2. Es una parte de las directrices europeas acordadas según la Directiva de Productos de Construcción, CPD. Por lo tanto, FIGRA es relevante para los productos de tan enorme mercado como es el de la construcción.

FIGRA se calcula como el valor máximo de la función

$$FIGRA [w/s] = \frac{(tasa\ de\ liberacion\ de\ calor) [w]}{(tiempo\ transcurrido\ de\ ensayo)[s]} \quad \text{Ecuación 1}$$

Además, ciertos valores umbral de HRR han de ser alcanzados antes de poder calcular FIGRA. Estos valores umbrales se usan para evitar que valores muy pequeño e iniciales de HRR de por resultado valores poco realistas de FIGRA. La definición detallada de FIGRA se puede encontrar en la norma EN 13823.

FIGRA es el parámetro principal para la clasificación de productos constructivos basado en el ensayo SBI [4] bajo la denominación de Euroclases. SBI evalúa la contribución potencial de un material al desarrollo de un fuego. Simula la combustión de un único elemento en la esquina de una habitación. Este ensayo es utilizado para las Euroclases A2, B, C y D, ver Tabla 6. La tabla está incluida por una decisión tomada por la Comisión Europea [20]. Abarca los productos de construcción incluidos en el CPD con excepción de algunos grupos como los suelos y los denominados productos lineales como por ejemplo cables y aislamientos de tuberías.

Clase	Métodos de ensayo	Criterios de clasificación	Clasificación adicional
A1	prEN ISO 1182 ¹⁾ y	$\Delta T \leq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f = 0$ (es decir, sin producción sostenida de llamas)	—
	prEN ISO 1716	$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{1)}$ y $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{2) 2a)}$ y $PCS \leq 1,4 \text{ MJ/m}^{2 3)}$ y $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{4)}$	—
A2	prEN ISO 1182 ¹⁾	$\Delta T \leq 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f \leq 20 \text{ s}$	—
	prEN ISO 1716 y	$PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}^{1)}$ y $PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^{2 2)}$ y $PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^{2 3)}$ y $PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}^{4)}$	—
	EN 13823	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ y $LFS < \text{borde de la muestra}$ y $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Producción de humo ⁵⁾ y Gotas/partículas inflamadas ⁶⁾
B	EN 13823 y	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ y $LFS < \text{borde de la muestra}$ y $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Producción de humo ⁵⁾ y Gotas/partículas inflamadas ⁶⁾
	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ : Exposición = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 60 s	
C	EN 13823 y	$FIGRA \leq 250 \text{ W/s}$ y $LFS < \text{borde de la muestra}$ y $THR_{600s} \leq 15 \text{ MJ}$	Producción de humo ⁵⁾ y Gotas/partículas inflamadas ⁶⁾
	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ : Exposición = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 60 s	
D	EN 13823 y	$FIGRA \leq 750 \text{ W/s}$	Producción de humo ⁵⁾ y Gotas/partículas inflamadas ⁶⁾
	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ : Exposición = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 60 s	
E	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ : Exposición = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 20 s	Gotas/partículas inflamadas ⁷⁾
F	Ningún comportamiento determinado		

1) Para productos homogéneos y componentes sustanciales de productos heterogéneos.
2) Para cualquier componente externo no sustancial de productos heterogéneos.
2a) Alternativamente, cualquier componente externo no sustancial que tenga un $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/m}^2$, siempre que el producto satisfaga los criterios siguientes de la Norma EN 13823: $FIGRA \leq 20 \text{ W/s}$, y $LFS < \text{borde de la muestra}$ y $THR_{600s} \leq 4,0 \text{ MJ}$ y s1 y d0.
3) Para cualquier componente interno no sustancial de productos heterogéneos.
4) Para el producto como un todo.
5) En la última fase del desarrollo del procedimiento de ensayo, se han introducido modificaciones del sistema de medida del humo, cuyos efectos exigen investigaciones adicionales. Esto puede dar por resultado una modificación de los valores límites y/o de los parámetros para la evaluación de la producción de humo.
s1 = $SMOGRA \leq 30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y $TSP_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$; s2 = $SMOGRA \leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y $TSP_{600s} \leq 200 \text{ m}^2$; s3 = no s1 o s2.
6) d0 = ausencia de gotas/partículas en llamas según la Norma EN 13823 dentro de 600 s;
d1 = ausencia de gotas/partículas en llamas persistiendo más de 10 s según la Norma EN 13823 dentro de 600 s;
d2 = no d0 o d1.
La inflamación del papel según el proyecto de Norma prEN ISO 11925-2 da por resultado una clasificación d2.
7) Supera el ensayo = no se produce inflamación del papel (no hay clasificación);
No supera el ensayo = inflamación del papel (clasificación d2).
8) En condiciones de ataque de la superficie por llama y, si procede para la aplicación de uso final del producto, ataque del borde por llama.

Tabla 6: Clases de comportamiento de reacción al fuego para productos de construcción, excluidos revestimientos de suelos. [1]

El sistema de clasificación es bastante complejo, incluye métodos de ensayo con varios parámetros para la clasificación [21]. En la mayoría de los casos, FIGRA es el parámetro para determinar una clase, con excepción de los productos no combustibles de clase A1 y los productos fácilmente inflamables de la clase E, donde SBI no se usa normalmente [10].

Como ya se ha mencionado, actualmente en España se sigue la norma UNE-EN 13501-1:2002 “Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de

construcción y elementos para la edificación”. Esta norma sustituyó a la norma UNE 23727:1990 la cuál seguía la clasificación según las clases “M”. A su vez esta norma es una revisión de la creada en 1981 [21, 22]. Con la aparición de la norma UNE-EN 13501, estas últimas quedaron obsoletas, debido al drástico cambio sufrido en el sistema de clasificación para la adaptación europea del sistema español.

Clase	Métodos de ensayo	Criterios de clasificación	Clasificación adicional
A1_n	prEN ISO 1182 ¹⁾ y	$\Delta T \leq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f = 0$ (es decir, sin producción sostenida de llamas)	—
	prEN ISO 1716	$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{1)}$ y $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{2)}$ y $PCS \leq 1,4 \text{ MJ/m}^2 \text{ }^{3)}$ y $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{4)}$	—
A2_n	prEN ISO 1182 ¹⁾	$\Delta T \leq 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f = 20 \text{ s}$	—
	prEN ISO 1716 y	$PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}^{1)}$ y $PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2 \text{ }^{2)}$ y $PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2 \text{ }^{3)}$ y $PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}^{4)}$	—
	prEN ISO 9239-1 ⁵⁾	Flujo crítico ⁶⁾ $\geq 8,0 \text{ kW/m}^2$	Producción de humo ⁷⁾
B_n	prEN ISO 9239-1 ⁹⁾ y	Flujo crítico ⁶⁾ $\geq 8,0 \text{ kW/m}^2$	Producción de humo ⁷⁾
	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ ; Exposición = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 20 s	—
C_n	pr EN ISO 9239-1 ⁵⁾ y	Flujo crítico ⁶⁾ $\geq 4,5 \text{ kW/m}^2$	Producción de humo ⁷⁾
	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ ; Exposición = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 20 s	—
D_n	pr EN ISO 9239-1 ⁵⁾ y	Flujo crítico ⁶⁾ $\geq 3,0 \text{ kW/m}^2$	Producción de humo ⁷⁾
	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ ; Exposición = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 20 s	—
E_n	prEN ISO 11925-2 ⁸⁾ ; Exposición = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ dentro de 20 s	—
F_n	Ningún comportamiento determinado		
1) Para productos homogéneos y componentes sustanciales de productos heterogéneos.			
2) Para cualquier componente externo no sustancial de productos heterogéneos.			
3) Para cualquier componente interno no sustancial de productos heterogéneos.			
4) Para el producto como un todo.			
5) Duración del ensayo = 30 min.			
6) El flujo crítico se define como el flujo radiante para el cual se apaga la llama o el flujo radiante después de un periodo de ensayo de 30 min si este valor es inferior (es decir, el flujo correspondiente a la máxima propagación de la llama).			
7) s1 = Humo $\leq 750\%$ min; s2 = no s1.			
8) En condiciones de ataque de la superficie por llama y, si procede para la aplicación de uso final del producto, ataque del borde por llama.			

Tabla 7: Clases de comportamiento de reacción al fuego para revestimientos de suelos. [1]

1.2 Introducción a la tecnología láser

Para establecer la motivación de este proyecto se hace necesaria una pequeña introducción histórica de la tecnología Láser, la cual se remonta a comienzos del siglo XX. Hasta 1900, el estudio de la luz estaba limitado a examinar su comportamiento. Hasta entonces los científicos habían identificado la fuente de la luz pero no sabían como era generada. Max Planck (*1858, † 1947) estudio la cavidad radiante y definió de sus observaciones una relación entre la “radiancia” de un haz de luz, la temperatura, y la frecuencia (Ecuación 2) en 1900 [23], donde h es la cte. de Planck, E es energía, ν es frecuencia.

$$E[J] = h\left[\frac{J}{s}\right] \cdot \nu[s^{-1}] \quad \text{Ecuación 2}$$

Pero hubo que esperar hasta 1917, para considerar que la carrera hacia el LÁSER había dado comienzo, cuando Albert Einstein (*14 Marzo 1879, † 18 Abril 1955) postula de forma teórica la existencia de la emisión estimulada, planteando la posibilidad de amplificar la luz [24]. Albert Einstein desarrollo el concepto teórico de luz que viaja en ondas de partículas (fotones) y de “emisión estimulada”. Aunque Einstein no invento el Láser, su trabajo sentó las bases para ello. Señalo, teniendo en cuenta las estadísticas de fotones, que la emisión estimulada de radiación podría ocurrir.

La palabra LÁSER es un acrónimo de “*Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation* (acuñado por Gordon Gould)” (Amplificación de Luz por Emisión Estimada de Radiación). El precursor del Láser fue el MASER “*micro-wave amplification by stimulated emission of radiation*”. El ímpetu por el desarrollo del Máser fue incrementando el interés en la radiación de microondas que propicio su utilización en la tecnología del Radar. Durante la Segunda Guerra Mundial los científicos se centraron en el desarrollo de equipos de Radar y su interés quedo reducido a la franja espectral de las microondas. El primer Máser fue creado por Townes [25] quien junto a James Gordon y Herbert Zeiger, tuvieron éxito en la producción de una población invertida por el aislamiento de moléculas de amoniaco excitadas. Pero el primer Máser, un sistema con dos niveles de energía, era incapaz de dar una salida continua. Para lograr una salida continua, nuevos sistemas con más de dos niveles de energía tuvieron que ser diseñados. Estos sistemas podían liberar la emisión estimulada de átomos excitados sin caer en el estado cero, manteniendo así una población invertida. Nikolai Basov y Alexander Prokhorov desarrollaron esta primera idea en Moscow. Basov, Prokhorov, y Townes compartieron el premio Nobel de Física en 1964 por el desarrollo del concepto de Máser. [26]

Después de que el Máser se convirtiera en una realidad, los científicos observaron la posibilidad de la emisión estimulada en otras regiones del espectro electromagnético. Arthur Schawlow junto con Townes, en los laboratorios “Bell Telephone” en Murray Hill, New Jersey, comenzaron a investigar la posibilidad de máseres de óptica en infrarroja (IR). Ellos publicaron en 1958 la primera propuesta detallada para la construcción de un Máser óptico (después se le cambio el nombre por Láser) [27].

El hecho de que las longitudes de onda de la luz visible eran mucho menores y la dificultad de encontrar un medio láser apropiado propicio la necesidad de realizar muchos más ensayos en los cuales resultaba difícil ajustar el dispositivo para su funcionamiento como láser. Es por ello que la construcción del primer generador láser no tuvo lugar hasta 1960. En ese año Theodore H. Maiman produjo por primera vez el fenómeno láser en frecuencias ópticas trabajando con un cristal de rubí. Sin embargo este dispositivo solo era capaz de generar luz pulsada debido a que solo operaba en tres niveles distintos de energía [28, 29]. El primer láser continuo fue el de He-Ne diseñado muy poco después por Javan, Bennett y Herriot [30].

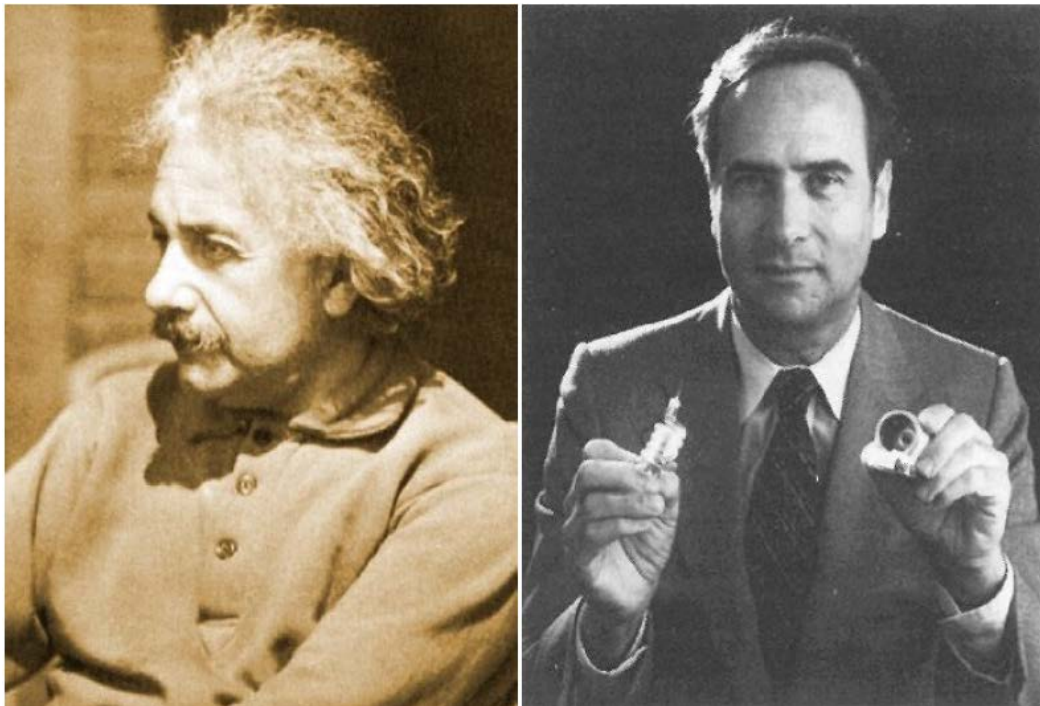


Fig. 6: Albert Einstein (izq) y T.H. Maiman (der)

dawes.wordpress.com

En 1964, Kumar N. Patel, desarrolló el primer láser de CO₂ en los laboratorios Bell [31]. El desarrollo de la tecnología láser y sus aplicaciones a partir de aquel momento, ha sido vertiginoso. Ha evolucionado desde lo que fue descrito como *“Una solución a falta de un problema”*, hasta convertirse en una realidad cotidiana. Todo esto y mucho más queda resumido en la Tabla 8:

1917	Einstein publica su artículo sobre la emisión estimulada
1951	C.H. Townes desarrolla el Máser
1958	C.H. Townes y A.L. Schawlow proponen que el concepto de Máser puede ser extendido a frecuencia ópticas
1960	T.H. Maiman en los laboratorios Hughes y su asistente Charles Asawam informan el 16 de Mayo del primer Láser en funcionamiento: Un Láser pulsante de rubí
1961	Primera aplicación del láser medico en oftalmología realizada por Chrales J. Campbell
1961	El primer láser de onda continua se informa por A. de Java: el láser de helio neón
1962	El primer láser de diodo es informado por M.I.Nathan
1963	Primera aplicación médica del láser en oftalmología realizada por L. Goldman
1964	Nicolay Basov, Charles townes y A.M. Prokhorov ganan el premio Nobel por su trabajo fundamental en el campo de la electrónica cuántica, que ha llevado a la construcción de osciladores y amplificadores basados en los principios del Láser y el Máser
1964	El Láser de Argon es desarrollado en los laboratorios Hughes. Kumar Patel inventa el Láser de gas de CO ₂ en el infrarrojo lejano en los laboratorios Bell. El láser de Nd:YAG también es desarrollado en los laboratorios Bell.
1969	El láser de colorante se introduce en los laboratorios de IBM por P. Sorokin y J. Lankard. El láser de colorante pulsado es el primer láser para producción selectiva inducida por la luz.
1970	El primer láser de excimer [sobre una única base de xenón (Xe)] es inventado por el grupo N. Basov en los laboratorios de Lebedev de Moscú
1977	El grupo de J. Madey en la Universidad de Stanford desarrolla el primer láser de electrones libres
1980	L. Goldman establece " <i>The American Society for Láser Medicine and Sugery, Inc</i> ", la mayor organización del mundo profesional dedicada a promover la excelencia en la atención de los pacientes por avance de las aplicaciones del láser y tecnologías relacionadas
1981	A. Schawlow y Bloembergen N. recibe el premio Nobel por "su contribución al desarrollo de la espectroscopia láser y la óptica no lineal "
1984	El grupo de Matthew en los laboratorios Lawrence Livermore muestra un prototipo de Láser de Rayos-X
2005	J. Hall y Hänsch T. recibe el premio Nobel por su contribución al desarrollo de la espectroscopía de precisión basada en láser, incluyendo la técnica del peine de frecuencias ópticas

Tabla 8: Historia del láser

En nuestros días, el láser es una herramienta que se utiliza en un gran número de aplicaciones industriales (corte, soldadura, marcado, punteros láser, guiado de maquinaria, mediciones a distancia, lectores de códigos de barra), médicas (odontología, oncología, urología, operaciones sin sangre, cicatrizado), militares (guiado de misiles, alternativa al radar, cegado de tropas enemigas) y científicas. Poco a poco la ciencia ficción se va convirtiendo en realidad, y el conocimiento y difusión de esta tecnología está contribuyendo a hacer más frecuente su uso y a clarificar sus limitaciones. La elección tomada de usar un láser de CO₂ para la realización de este proyecto viene dada por sus particulares características, que se consideran la más apropiadas para dicho fin. El láser de CO₂ ocupa el liderazgo en aplicaciones industriales. Ofrece a la vez alta potencia y eficiencia para longitudes de onda infrarrojas, pudiendo ser utilizado en una gran diversidad de aplicaciones: corte, soldadura y tratamientos térmicos de metales, aplicaciones en medicina, marcado, entre otros.

El medio activo de un láser de CO₂ está constituido por una mezcla de CO₂, N₂ y He (aproximadamente 10% de CO₂, 40% de N₂ y 50% de He). La transición láser tiene lugar entre los niveles vibro-rotacionales de la molécula de CO₂. Las moléculas tienen una estructura mas complicada que los átomos, y aparte de los niveles de energía que corresponden a estados electrónicos, tienen otros relacionados con los movimientos de rotación o de vibración de la estructura molecular [32].

1.2.1 Interacción Láser-Materia

Cuando un haz láser incide sobre una superficie, tiene lugar una transferencia de energía dentro de una región muy cercana a la superficie. Esta transferencia energética, involucra procesos de excitación y des-excitación a nivel electrónico de los átomos y/o moléculas del material, en un periodo de tiempo considerablemente corto. En esa región superficial se pueden alcanzar velocidades de calentamiento y enfriamiento extremas del orden de 10^3 a 10^{10} K/s, y aun así, la energía total, típicamente varía entre 0.1 y 10 J/cm^2 , esto es insuficiente para afectar, de manera significativa, la temperatura del resto del material. Lo cual permite procesar regiones muy superficiales bajo condiciones extremas, con un efecto mínimo sobre las propiedades del resto de la pieza de trabajo [33].

Dependiendo de las condiciones de irradiación y las características superficiales, ópticas y térmicas del material, en la zona sujeta a irradiación se producirán cambios de fase y/o estado, relacionados con procesos de calentamiento, fusión y/o evaporación.

Cuando el haz láser incide sobre la superficie de una pieza de trabajo, parte de la radiación es reflejada y otra parte penetra en el material. En materiales opacos, la radiación que penetra es absorbida en un espesor muy pequeño comparado con las dimensiones totales de la pieza de trabajo, usualmente unos pocos micrómetros para los materiales no metálicos [34]. Esta fenomenología es esquematizada en la Fig. 7

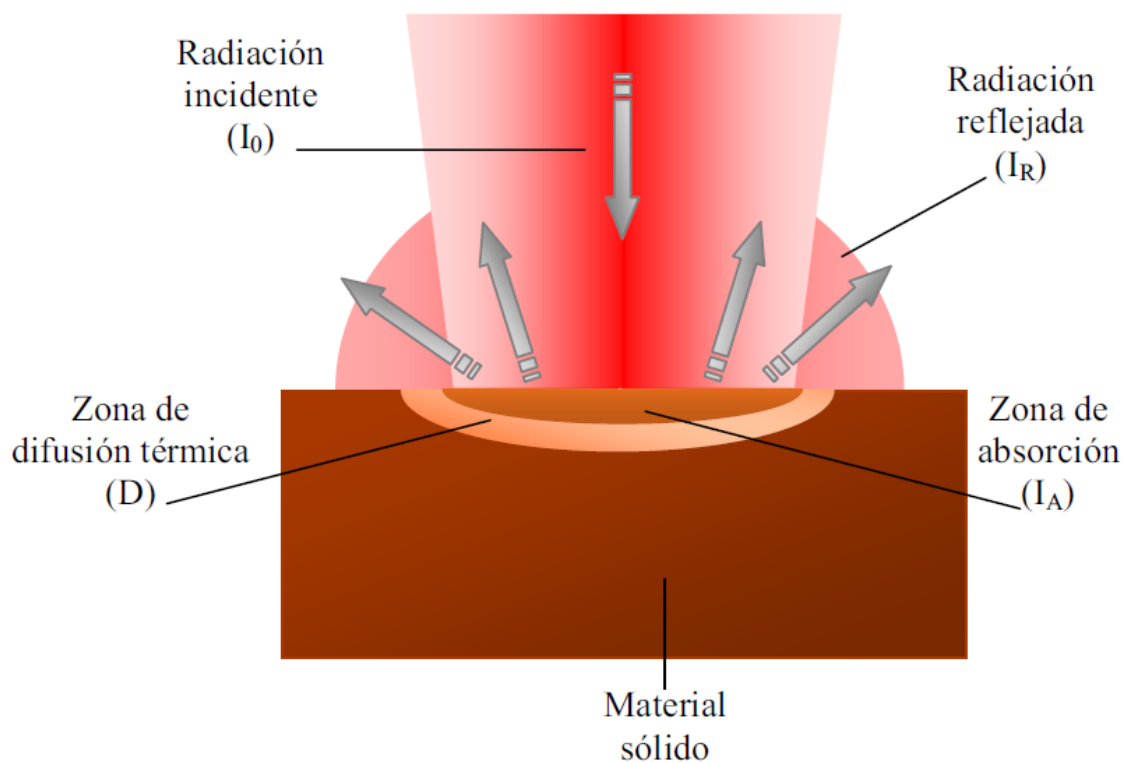


Fig. 7: Interacción del haz láser incidente con la superficie sólida del material irradiado. [35]

La fracción de energía absorbida y reflejada por un cuerpo depende de sus propiedades ópticas. Las propiedades ópticas que pueden ser funciones de la longitud de onda y la temperatura, se describen por medio de las relaciones de Fresnel.

En condiciones de incidencia normal la fracción de energía reflejada (R) se expresa en términos del índice de refracción (n) y el coeficiente de extinción (k),

$$R = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

En materiales no conductores como los cerámicos de construcción, $k < 10^{-6}$ [34]. Por lo tanto, si $(n-1) \gg 10^{-6}$, la anterior ecuación se puede expresar de forma simplificada como,

$$R = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

La ley de Beer-Lambert describe en una primera aproximación, la intensidad de la luz que penetra en gran parte de los materiales.

$$I_A(z)[cd] = I_0[cd](1 - R) \cdot e^{-(\alpha z)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde, I_A es la intensidad de la radiación a una profundidad z de la superficie, I_0 es la intensidad de la radiación que incide sobre la superficie y α es el coeficiente de absorción óptica, el cual se expresa como:

$$\alpha[m^{-1}] = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde λ es la longitud de onda y k es el coeficiente de absorción. Esta expresión es válida en condiciones donde los efectos no lineales no sean significativos. Sin embargo, si se dan procesos de absorción multifotónica, el coeficiente α dependerá también de I_0 . Por otro lado, se puede considerar que la penetración característica de la radiación en el medio es α^{-1} , denominada longitud de absorción óptica.

La fracción de la energía láser que es absorbida produce la excitación de los electrones del material. Si la energía de los fotones incidentes es mayor que varios eV, los electrones excitados podrían ser liberados del material por efecto fotoeléctrico. Sin embargo, en la mayoría de procesos láser en el infrarrojo se emiten fotones con una energía relativamente baja, que en el caso de los láseres de CO₂ es de alrededor de 0.1 eV. En estas condiciones, los electrones transfieren la energía en un periodo corto de tiempo, conocido como periodo de relajación, durante el cual interactúan entre ellos y/o con los defectos de la red cristalina, para finalmente regresar a su estado de equilibrio liberando esta energía en forma de calor [33].

1.2.2 Funcionamiento de un láser de CO₂

El láser de CO₂ opera de la siguiente manera:

Se genera una descarga del gas láser que constituye el medio activo mediante voltaje de radiofrecuencia. Los electrodos operan desde fuera del tubo que contiene la mezcla, no siendo dañados por la descarga.

El espejo trasero y el espejo de salida forman el resonador óptico. Dentro del resonador se produce el haz láser, que es emitido por un orificio. Finalmente, para refrigerar los electrodos se utiliza agua.

Debido a la naturaleza de los electrodos, el haz láser emitido diverge a diferentes velocidades en las direcciones x (espacio libre) e y (guía de ondas). Para dar la forma redondeada al haz es necesario volver a dar forma al haz de salida por medio de ópticas reflectantes correctoras. Esto puede lograrse por medio de elementos ópticos simples o mediante la combinación de ópticas cilíndricas y esféricas. La óptica debe estar hecha de materiales que reflejen o sean transparentes a la radiación infrarroja como el germanio (Ge), el seleniuro de zinc (ZnSe) y el arseniuro de galio (GaAs), siendo todos estos transparentes para la longitud de onda de 10,6 μm .

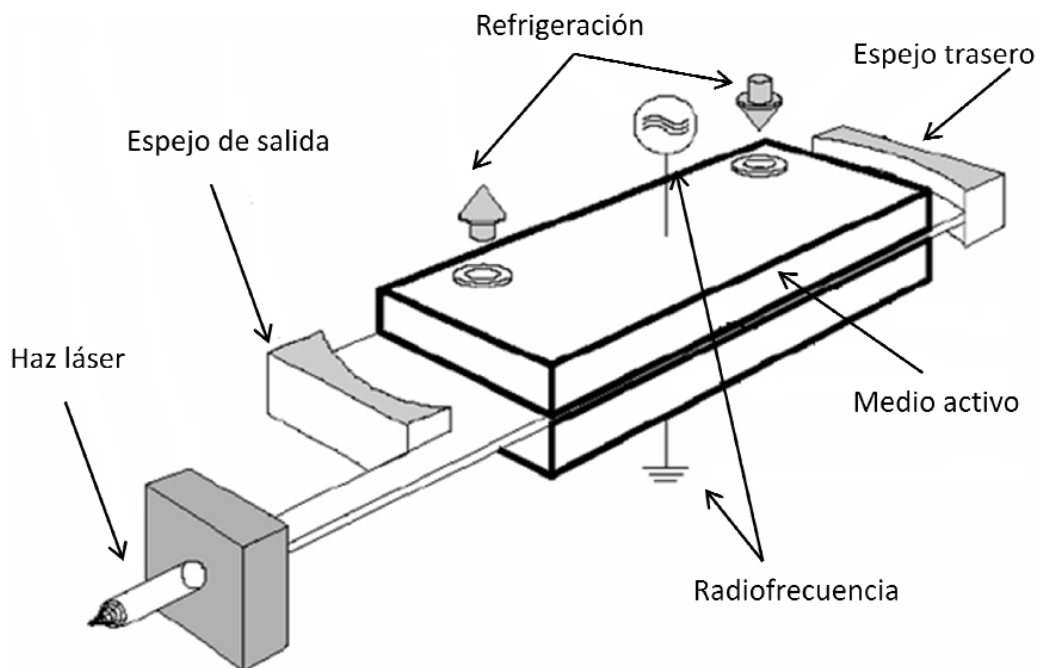


Fig. 8: Esquema equipo. [36]

A continuación se explican brevemente los parámetros más relevantes del láser.

- **Duty cycle** (o ciclo de trabajo) se define como el ratio entre la duración del pulso (PW) y el periodo (PP) de una onda rectangular y se expresa la relación en porcentaje.

$$\%Duty = \frac{PW}{PP}$$

Ecuación 7

- **PW** "Pulse width" (o duración del pulso) es el tiempo que dura el pulso o tren de pulsos.
- **PP** "Pulse period" (o periodo) es el tiempo transcurrido entre un pulso y el siguiente.

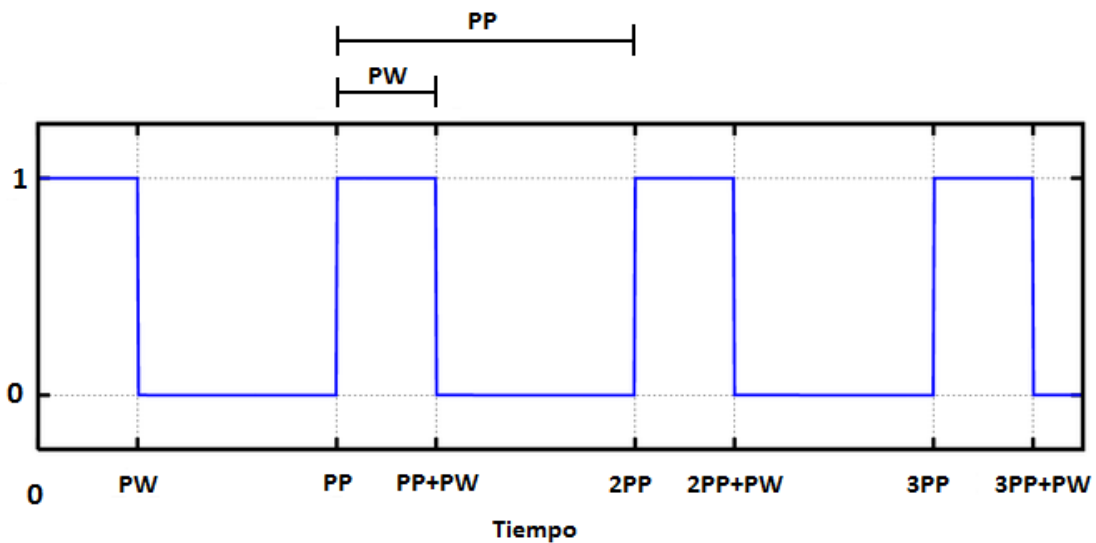


Fig. 9: Esquema Duty Cycle, PP y PW.

- **Distancia focal:** es la distancia para la cual la anchura del haz es mínima.
- **Distancia de posicionamiento:** Esta distancia es la que existe entre el extremo del láser y la superficie de la probeta.
- **Velocidad de corte:** Es la velocidad relativa entre el brazo robótico y el láser. Su valor se mantiene constante a lo largo de todo el estudio.

2 PROCESO EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

Para la realización de este estudio se han utilizado distintos tipos de materiales. Al comienzo del estudio se reunieron varios materiales con distintas propiedades y clasificaciones, todos ellos se muestran en las Tablas 9, 10, 11, 12 y 13. La elección de los distintos materiales viene condicionada por su reacción al fuego. En el estudio se busca materiales que estén clasificados al fuego según la norma UNE-EN 13501-1.

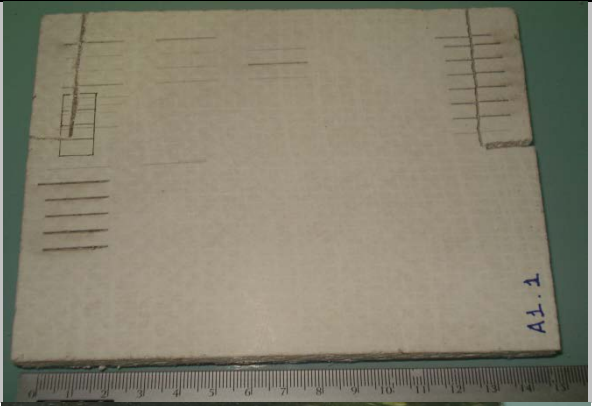


Probeta	Material	Descripción	Imagen
A1.1	Compuesto a base de silicatos	Placa ignifuga "TECBOR®" compuesta de magnesita silicatos y otros aditivos.	
A1.2	Aluminio	Aluminio EN-AW 1200	
A2.1	Cemento	Panel de cemento "Bluclad" reforzado con fibras naturales, semicomprimido de color beige	

Tabla 9: Resumen Materiales 1/5





Probeta	Material	Descripción	Imagen
A2.2	Fibra mineral	Placa compuesta por fibra mineral con un acabado superficial de pintura vinílica de látex.	
B1	Poliuretano	Panel de espuma de poliuretano rígido	
C1	Madera	"Tarima flotante TOPBAMBOO", está compuesto de 2,5mm de capa de uso de bambú macizo pegado sobre una base de HDF	
C2	Madera	Tarima "Moso® Bicapa lama ancha", formada por dos capas, capa superior 3,5mm de bambú, inferior multicapa de conífero	

Tabla 10: Resumen Materiales 2/5





Probeta	Material	Descripción	Imagen
C3	Madera	“Moso® Tarima Maciza lama ancha” formado por dos capas de bambú macizo y capa superior de bambú “DENSITY”	
C4	Madera	“Moso® Tarima Bicapa”, compuesto por capa superior de 4mm y un dorso cruzado de bambú	
C5	Madera	El material WOOD ⁺ , es un material tricapa de contrachapado fenólico de abedul encolado WBP	
C6	Madera	Madera “QMB Parador”	

Tabla 11: Resumen Materiales 3/5




Probeta	Material	Descripción	Imagen
D1	Madera	"Ambiance® Woodloc" dos capas, primera más densa de 2,5 mm y segunda de contrachapado	
D2	Madera	"Extend Plank-Floor®" una capa de uso de 3,2mm y un soporte formado por 5 capas plywood	
M2.1	Madera	Pavimento sintético de laminado compacto	

Tabla 12: Resumen Materiales 4/5

Probeta	Clasificación según UNE-EN 13501-1	Espesor [mm]
A1.1	A1	12
A1.2	A1	0,8
A2.1	A2	10
A2.2	A2-S ₂ -d ₀	15
A2.3	A2-S ₁ -d ₀	12
A2.4	A2-S ₁ -d ₀	12
B1	B-S ₂ -d ₀	28
C1	C _{fi} -S ₁	10
C2	C _{fi} -S ₁	19
C3	C _{fi} -S ₁	13
C4	C _{fi} -S ₁	10
C5	C _{fi} -S ₁	17
C6	C _{fi} -S ₁	8
D1	D _{fi} -S ₁	10
D2	D _{fi} -S ₁	14
M2.1	M2*	5

*Clasificación según UNE-23727

Resumen del significado de la clasificación

A1: No Combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego

A2: No Combustible. Sin contribución en grado menor al fuego

B: Combustible. Contribución muy limitada al fuego

C: Combustible. Contribución limitada al fuego

D: Combustible. Contribución media al fuego

E: Combustible. Contribución alta al fuego

F: Sin clasificar

Tabla 13: Resumen Materiales 5/5

2.1.1 Materiales Clase A1

En este grupo solo se cuenta con dos materiales, el primero es una placa ignifuga “TECBOR®”. Esta compuesta de magnesita, silicato y otros aditivos, el espesor de la probeta es 12mm. Será denominado en el resto del documento como **A1.1**. Existen varios materiales con clasificación A1 que no necesitan ser ensayados. Esta información se da en la decisión de la Comisión del 4 de octubre de 1996, que establece la lista de productos que pertenecen a las clases A1 y A1_{fi} “Sin contribución al incendio”, dispuesta en la Decisión 96/603/CEE. Algunos de estos materiales son: Arcilla, plomo, yeso, vidrio, cerámica, cemento, piedra natural, etc. Todos ellos son muy fáciles de obtener, pero se decidió que era más conveniente usar un material que estuviese ensayado por los métodos que exige la norma y que además estuviese altamente probado.

El segundo material es Aluminio EN AW-1200 proveniente de una chimenea modular gama “Alumigas”. Este material se selecciono sabiendo que es uno de los materiales clasificados como A1 sin necesidad de ensayo. Es denominado como **A1.2**. Tiene un espesor de 0,8mm.

2.1.2 Materiales Clase A2

En este grupo el estudio cuenta con cuatro materiales. El primero, denominado **A2.1**, es un panel de cemento “*Bluclad*”. Es un panel de cemento reforzado con fibras naturales, semicomprimido de color beige. Tiene una reacción al fuego A2, tiene un espesor de 10mm. Es un producto contrastado y ensayado lo cual hace que sea un material idóneo para el estudio. El segundo, denominado **A2.2**, de ellos es una placa “*Amstrong Cortega*” de 15mm de espesor, con una clasificación al fuego de A2-S₂-d₀

El segundo y el tercero son materiales del mismo fabricante, PLACO®, y aunque los dos tienen la misma clasificación (A2), el denominado como **A2.4**, “*Placoflam (PPF)*”, a priori es algo mejor de cara al fuego dado que así aparece en su descripción. El material denominado como **A2.3**, “*Estándar (BA)*” es una placa de yeso laminado con cartón a doble cara y alma de yeso de origen natural. El **A2.4** por su parte incorpora fibra de vidrio en el alma de yeso, la cual actúa como una malla que arma y cohesiona el yeso. Ambos tienen un espesor de 12mm.

2.1.3 Materiales Clase B

En esta clase solo se encontró un material con la clasificación realizada. Es un “*panel de espuma de poliuretano rígida*” clasificado como B-S₂-d₀. Es un material ligero y aislante térmico que se ha denominado como **B1**. Tiene un espesor de 28mm

2.1.4 Materiales Clase C

Los materiales que se han estudiado en la clase C son maderas, al igual que la mayoría de materiales clasificados como C encontrados en la bibliografía. El primer material de la lista es “*Tarima flotante TOPBAMBOO*”, denominado a lo largo del trabajo como **C1**, está compuesto de 2,5mm de capa de uso de bambú macizo pegado sobre una base de HDF encolada sobre una capa de madera de baja densidad (tipo álamo o conífero), el espesor total es 10mm. Esta clasificado como C_{fl}-S₁ según el ensayo de llama pequeña definido en UNE-EN 11925-2

El material denominado **C2** es una tarima “*Moso® Bicapa lama ancha*”, se compone de dos capas, la capa superior de 3,5mm de espesor es de bambú y la inferior es una multicapa de conífero. El espesor total es 19mm. El material **C3** es prácticamente igual al anterior, tiene una denominación comercial “*Moso® Tarima Maciza lama ancha*” estilo DENSITY que esta formado por dos capas de bambú macizo y una capa superior de bambú DENSITY con un espesor total de 13mm. Ambos materiales poseen una reacción al fuego C_{fl}-S₁.

El material “*Moso® Tarima Bicapa*”, denominado en el estudio **C4**, está compuesto por una capa superior de 4mm y un dorso cruzado de bambú. Posee un espesor de 10mm y una clasificación C_{fl}-S₁.

El material WOOD⁺, denominado **C5**, es un material tricapa de contrachapado fenólico de abedul encolado WBP de un espesor total de 17mm y una clasificación C_{fl}-S₁.

Por último está el material **C6**, cuya denominación comercial es “*QMB Parador*”, con un espesor de 8mm, es el material de clase C más homogéneo de los presentados, está formado por una única capa de material. Posee una clasificación $C_{fi}-S_1$.

2.1.5 Materiales Clase D

Al igual que en el caso anterior, los materiales de este grupo son maderas. El material **D1**, denomina comercialmente como “*Ambiance® Woodloc*”, es un material que presenta dos capas, una primera capa más densa de 2,5 mm de espesor y una segunda capa de contrachapado. El espesor total de la muestra es de 10mm.

El siguiente material de nuestro estudio es el “*Extend Plank-Floor®*” el cual posee una capa de uso de 3,2mm y un soporte formado por 5 capas plywood. En el estudio es denominado como **D2** y tiene un espesor de 14mm. Ambos materiales están clasificados como $D_{fi}-S_1$.

2.1.6 Materiales Clase M2

El último material a describir es un caso curioso, se trata de un material con la clasificación nacional antigua [22]. Se trata de un pavimento sintético de laminado compacto. Su clasificación al fuego es M2 y tiene un espesor de 5mm.

2.2 Etapas del proceso

A lo largo del proyecto se siguió una metodología que queda descrita a continuación.

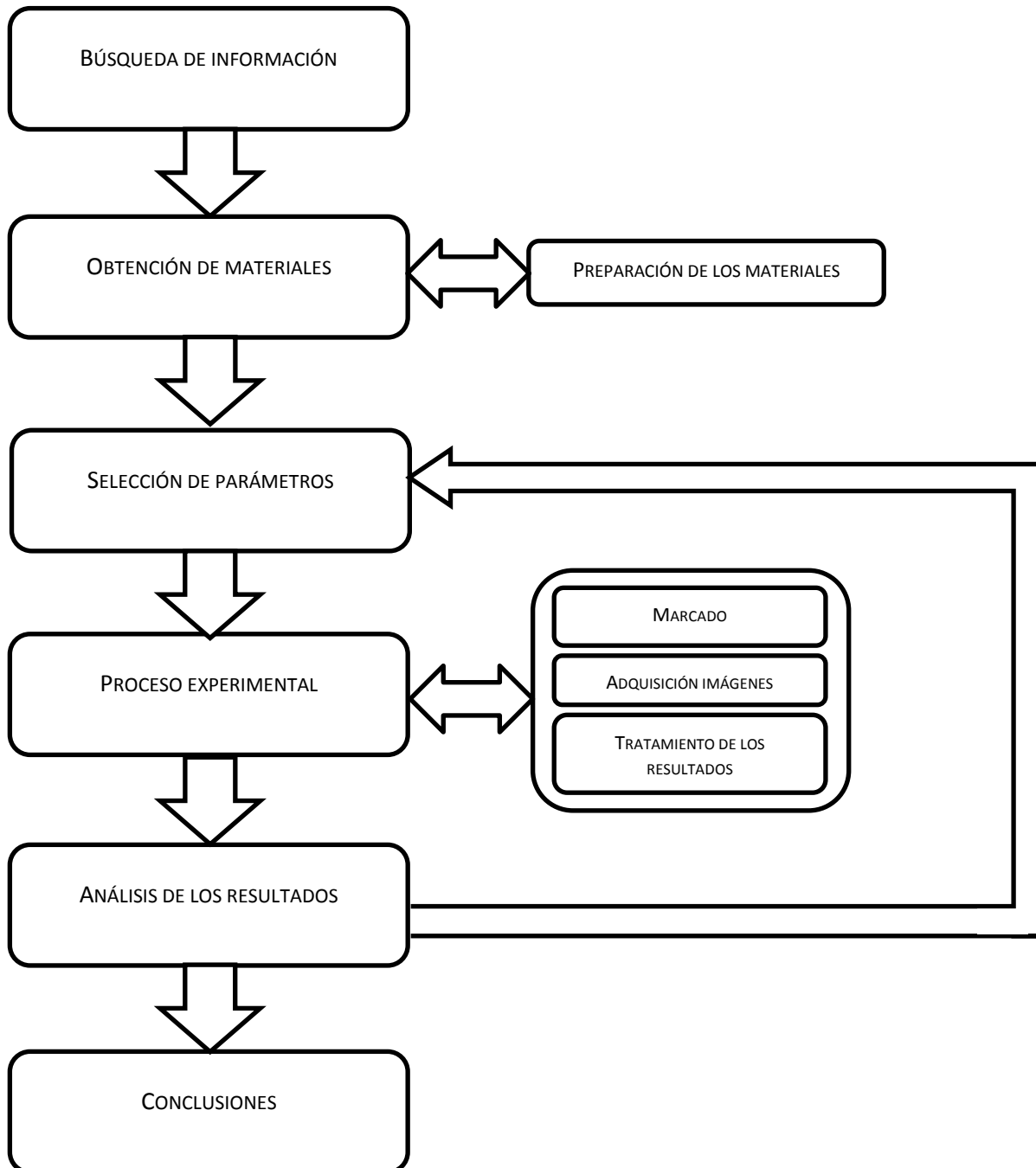


Fig. 10: Etapas del proceso

Lo primero que se ha realizar es una búsqueda de información. Esta búsqueda se centra en el estudio del fuego y la reacción de los materiales frente a él. También se realiza un acercamiento a la tecnología láser.

Una vez se establecen las bases teóricas del proyecto se procede a la obtención de los materiales. Para ello se realiza una búsqueda de puntos de fabricación y distribución de materiales de construcción. Cabe destacar que esto no es una tarea sencilla, dado que la clasificación sobre la que trata este estudio no es tan habitual como debería y la mayoría de materiales no la tienen. Esto es debido a que los ensayos son muy costosos y si no es exigido por ley o por petición del cliente, no se realizan. Este es el motivo principal de la escasez y uniformidad de las probetas.

Cuando se reúnen un número suficiente de probetas se prepararan las mismas para los ensayos, marcándolas para su posterior identificación sin equívocos. Además, debido al modo de obtención de las mismas, los tamaños son muy variados, algunas demasiado grandes para poder ensayarlas, por ello se cortan a un tamaño próximo a 10x10cm². Conviene decir que alguna de las probetas difiere de este tamaño algunos centímetros porque se considera que el tamaño de la probeta original era factible para los ensayos y por tanto cortarla iba a suponer más desventajas que ventajas.

Una vez realizado, se procede a comenzar los ensayos, para ello es necesario conocer las características del láser (Ver Tabla 11). El primero de los ensayos que se realiza, además sirve para la adquisición de experiencia con los equipos. Se selecciona una probeta, la **C6**, y se realizaran un número suficiente de marcas variando los parámetros PP y PW. La selección de la probeta viene condicionada por dos factores. El primero es la decisión de usar una probeta con clasificación intermedia, esto condujo a la clase C, el segundo es un condicionante lógico, dado que se dispone de cantidades reducidas de los materiales, se opta por usar el material del cual se dispone en mayor cantidad.

Especificaciones Láser	
λ (longitud de onda)	10,6 [μm]
Medio Activo	10% de CO ₂ , 40% de N ₂ y 50% de He
Potencia Media (Max)	200 [W]
Potencia Pico (Max)	600 [W]
%Duty (Max)	85%
PW (Max)	400 [μs]
PP(Max)	5 [ms]
Distancia posicionamiento	8 [mm]
Presión aire refrigerante	4,8 [bar]
Velocidad avance	5 [mm/s]

Tabla 14: Especificaciones láser

Al término de la realización de las marcas con el láser, se procede a la obtención de imágenes mediante el uso de microscopia óptica. Del mismo modo que en el caso anterior, este primer ensayo sirve de toma de contacto con el equipo del microscopio.

Con las imágenes ya obtenidas se precede al análisis de las mismas. El primer análisis se lleva a cabo teniendo en cuenta ensayos futuros, con lo que se buscan factores como irregularidades, zonas de afectación, anchos de las marcas, etc. Además se decide que se va a realizar a continuación buscando un parámetro interesante para ensayar.

A partir de este punto se puede considerar que se comienza con un proceso cíclico de prueba y error, decidiendo un parámetro que se considere interesante para su estudio, y procediendo a operar de manera similar a lo descrito en los tres puntos anteriores. De este modo se realizan los siguientes estudios.

El siguiente ensayo ha realizar, es la búsqueda de patrones que se repitan en las marcas dejadas por el láser, para ello se tomaron varias imágenes de cada una de las marcas y se buscan estos patrones a lo largo de las marcas dejadas por el láser.

El estudio prosigue con el ensayo de una probeta de cada una de las clases que se tienen. Primero realizando el marcado con el láser, seguido por la toma de imágenes en el laboratorio del microscopio y finalizando con el análisis de las mismas.

El siguiente paso es buscar como de amplia es la zona afectada por el láser, para lo cual se realiza primero una toma de imágenes de las probetas sin marcar, se marcan las probetas y se repite la toma de imágenes. Para conseguir tomar imágenes del mismo punto, antes y después de las marcas, se delimitan unas pequeñas zonas rectangulares en las probetas con el uso de un lápiz 2H.

Con todos estos estudios ya realizados se prosigue con, los que a priori se cree, los dos parámetros más relevantes, ancho y profundidad de las marcas. Se marcan las probetas de cada tipo. Se cortan y se tratan para la posterior toma de imágenes. Se analizan las mismas y se obtienen los resultados.

Con esto concluye la parte práctica del proyecto y comienza la parte teórica en la que se analizan y contrastan los resultados, se generan unas conclusiones y se redacta todo.

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente apartado se hará una exposición de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos junto con un análisis lo más exhaustivo posible de los mismos con la intención de clarificar todo lo relacionado con ellos. Para ello se dividirá el escrito en cada uno de los ensayos realizados.

En las tablas que hay al principio de los distintos ensayos aparecen 4 parámetros: Posición, PP, PW y %Duty. Los tres últimos ya han sido explicados con anterioridad. El parámetro denominado “Posición” es un simple marcador para poder diferenciar las distintas marcas sobre una misma pieza. No es relevante para los resultados, y se ha utilizado para facilitar la compresión del documento.

En las siguientes tablas se muestra una recopilación completa de todas las pruebas realizadas a cada probeta.

Probeta	Espesor [mm]	PP [μ s]	PW [μ s]	%Duty
A1.1	12	500	200	40
		500	75	15
		500	13	2,6
		500	14	2,8
		500	16	3,2
		700	20	2,9
		700	22	3,1
		700	24	3,4
		100	20	20
		100	15	15
		100	7	7
		100	5	5
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	110	22
		500	50	10
		500	150	30
		500	250	50
A1.2	0,8	500	75	15
		500	13	2,6
		500	14	2,8
		500	16	3,2
		700	20	2,9
		700	22	3,1
		700	24	3,4
A2.1	10	100	20	20
		500	200	40
		500	75	15
		500	13	2,6
		500	14	2,8
		500	16	3,2
		700	20	2,9
		700	22	3,1
		700	24	3,4
		100	20	20
		100	15	15
		100	7	7
		100	5	5
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	110	22
		500	50	10
		500	150	30
		500	250	50
A2.2	15	500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	22
		500	75	10
A2.3	12	500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
		500	250	50

Tabla 15: Recopilación pruebas 1/3

Probeta	Espesor [mm]	PP [μ s]	PW [μ s]	%Duty
A2.4	12	500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
		500	250	50
B1	28	500	200	40
		500	75	15
		500	13	2,6
		500	14	2,8
		500	16	3,2
		700	20	2,9
		700	22	3,1
		100	20	20
		100	15	15
		100	7	7
C1	10	500	5	5
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
C2	19	500	200	40
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
C3	13	500	250	50
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
C4	10	500	250	50
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
		500	250	50
		500	200	40
		500	75	15
		500	13	2,6
		500	14	2,8
		500	16	3,2
		700	20	2,9
		700	22	3,1
		700	24	3,4
		100	20	20
		100	15	15
		100	5	5
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	110	22
		500	50	10
		500	150	30

Tabla 16: Recopilación pruebas 2/3

Probeta	Espesor [mm]	PP [μ s]	PW [μ s]	%Duty
C5	17	500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
		500	250	50
C6	8	100	20	20,0
		100	40	40,0
		100	15	15,0
		100	10	10,0
		100	5	5,0
		100	4	4,0
		100	2	2,0
		500	10	2,0
		500	17	3,4
		500	13	2,6
		500	14	2,8
		500	16	3,2
		700	18	2,6
		700	20	2,9
		700	24	3,4
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
D1	10	500	200	40
		500	75	15
		500	13	2,6
		500	14	2,8
		500	16	3,2
		700	20	2,9
		700	22	3,1
		700	24	3,4
		100	20	20
		100	15	15
		100	7	7
		100	5	5
		500	15	3
		500	22	4,4
		500	110	22
		500	50	10
D2	14	500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30
		500	200	40
M2.1	5	500	15	3
		500	22	4,4
		500	50	10
		500	75	15
		500	110	22
		500	150	30

Tabla 17: Recopilación pruebas 3/3

3.1 Primer ensayo: Ensayos preliminares.

Este primer ensayo se realiza sobre la probeta **C6** únicamente. En el laboratorio del láser se realizan las siguientes marcas con las que se pretende abarcar el mayor de combinaciones de parámetros posibles.

Posición	PP (μ s)	PW (μ s)	% Duty
1	---	---	---
2	---	---	---
3	100	20	20,0
4	100	40	40,0
5	100	15	15,0
6	100	10	10,0
7	100	7	7,0
8	100	5	5,0
9	100	4	4,0
10	100	2	2,0
11	500	10	2,0
12	500	17	3,4
13	500	13	2,6
14	500	14	2,8
15	500	15	3,0
16	500	16	3,2
17	700	18	2,6
18	700	20	2,9
19	700	22	3,1
20	700	24	3,4

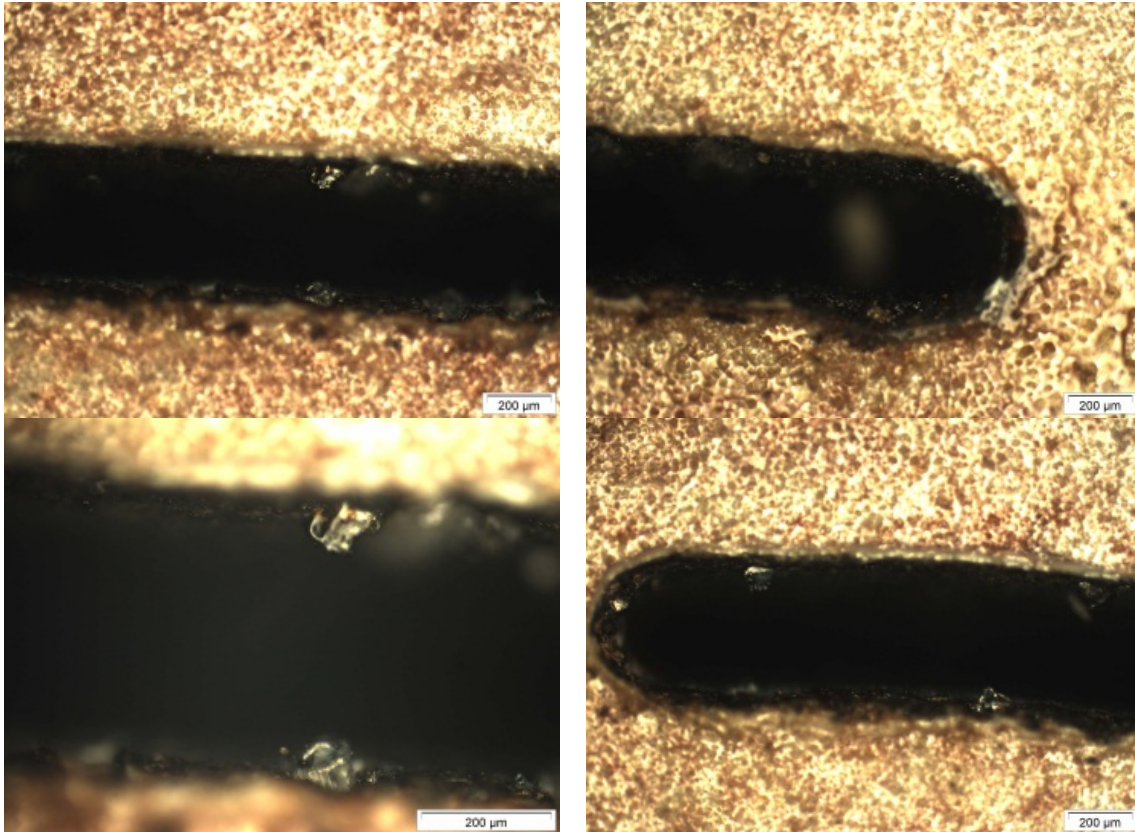
Tabla 18: Parámetros láser primer ensayo

En las siguientes tablas se muestran una selección de imágenes (Tablas 19, 20, 21 y 22). Esta selección se ha realizado entre más de 100 fotos tomadas con el microscopio, la mayoría de ellas contribuyen a los resultados pero las incluidas son las que se consideran de más relevancia para poder explicar el ensayo y sus resultados.

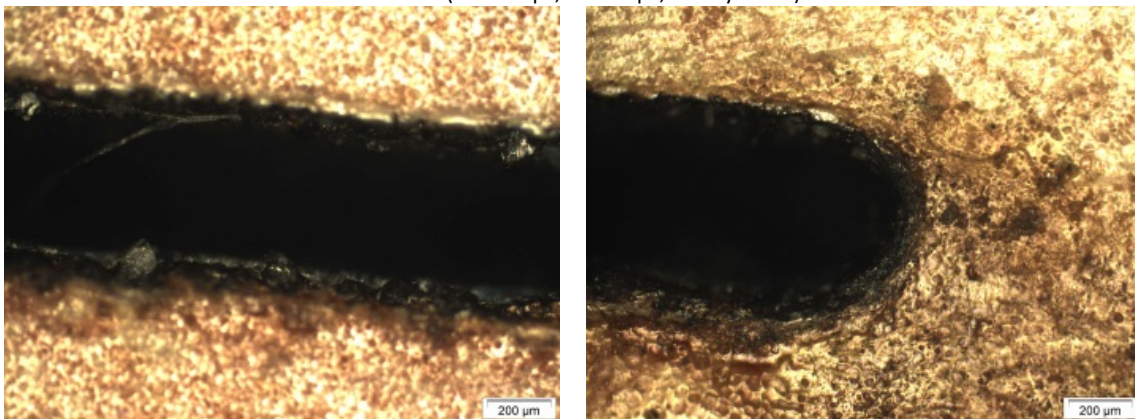
En un principio se busca el marcado superficial de las piezas, lo que lleva a que durante este primer ensayo, después de cada disparo, se observa la marca que deja el láser buscando el marcado superficial. Esto conlleva a la reducción de %Duty que se aprecia a lo largo del ensayo.

Las posiciones 10 y 11 nos dan un límite inferior de %Duty, debido a que no se aprecia marca superficial del láser, ni a simple vista ni mediante el uso de microscopio. Este se puede explicar teniendo en cuenta que la energía incidente es tan pequeña que no es suficiente para afectar de forma significativa al material.

Posición 3 (PP=100 μ s; PW=20 μ s; %Duty= 20%)



Posición 4 (PP=100 μ s; PW=40 μ s; %Duty= 40%)



Posición 5 (PP=100 μ s; PW=15 μ s; %Duty= 15%)

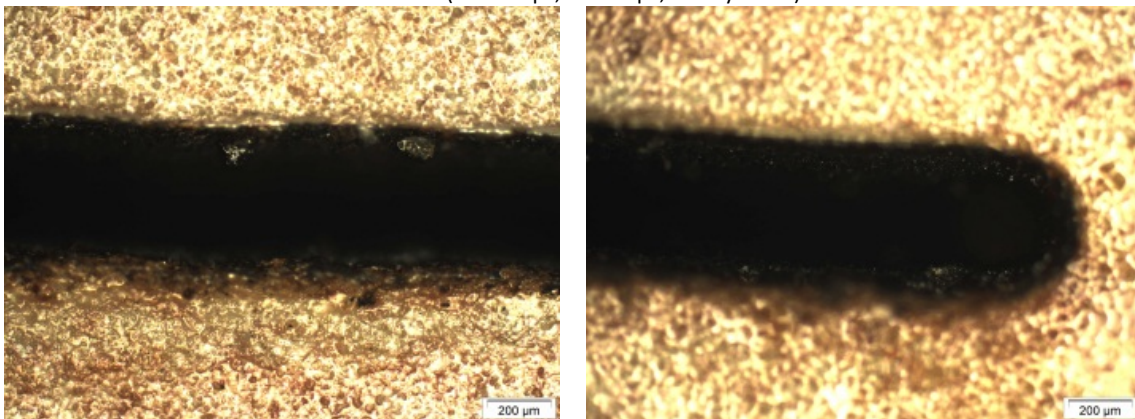
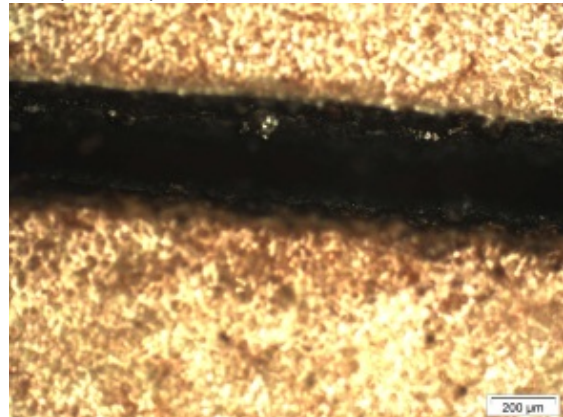


Tabla 19: Recopilación imágenes primer ensayo 1/4

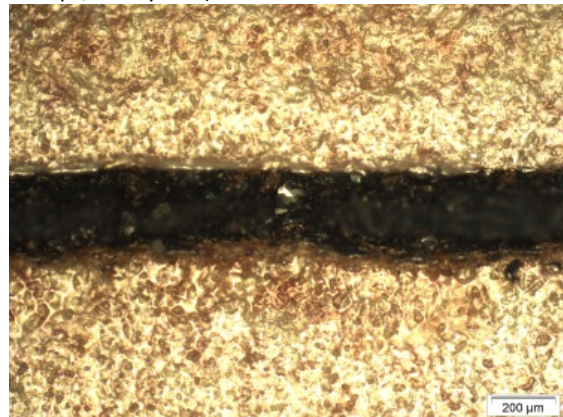
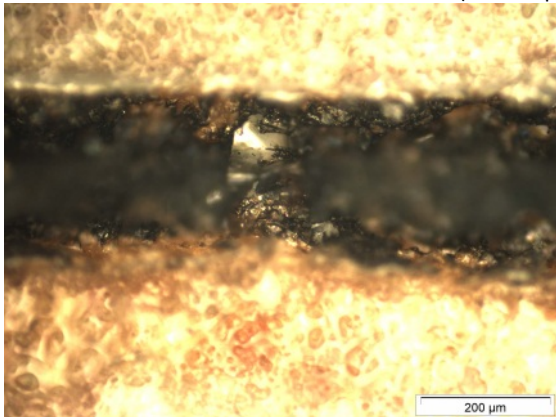
Posición 6 (PP=100 μ s; PW=10 μ s; %Duty= 10%)



Posición 7 (PP=100 μ s; PW=7 μ s; %Duty= 7%)



Posición 8 (PP=100 μ s; PW=5 μ s; %Duty= 5%)



Posición 9 (PP=100 μ s; PW=4 μ s; %Duty= 4%)

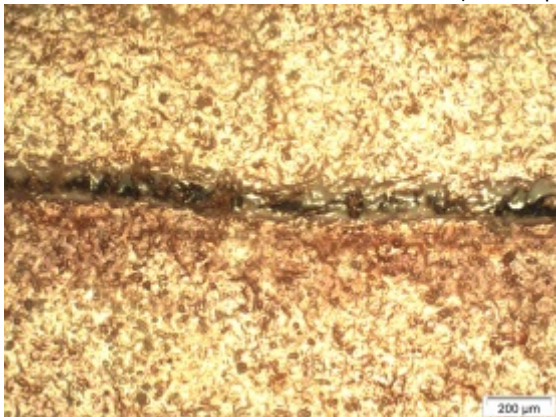
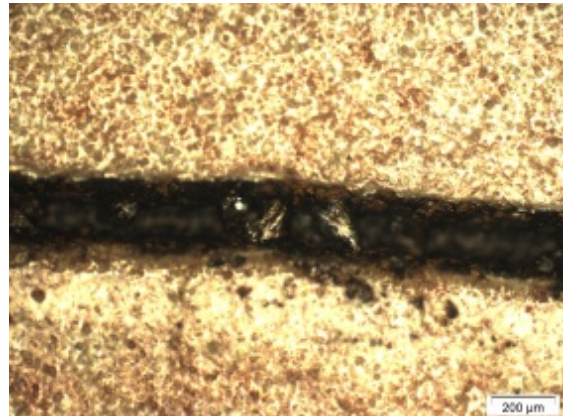
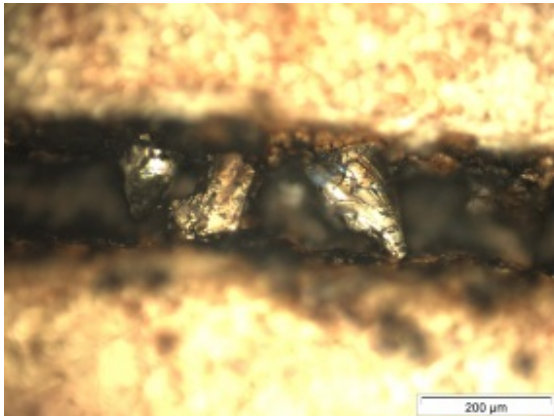
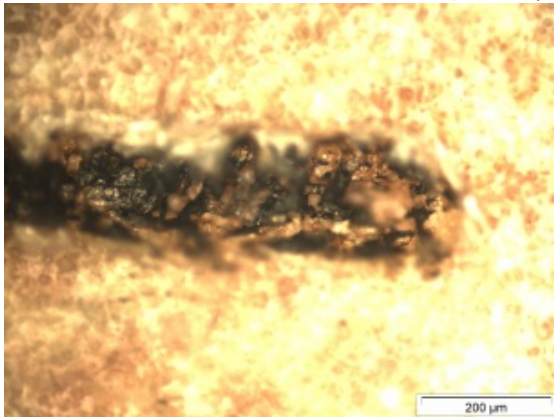


Tabla 20: Recopilación imágenes primer ensayo 2/4

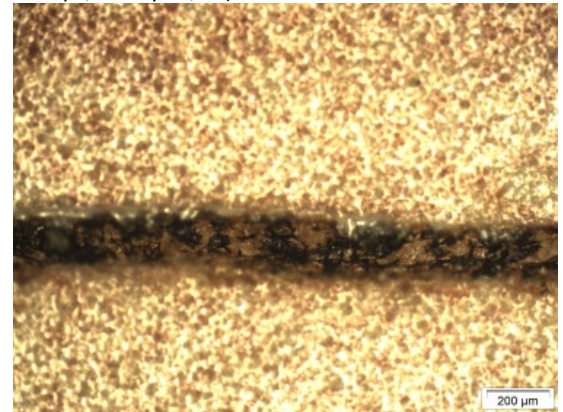
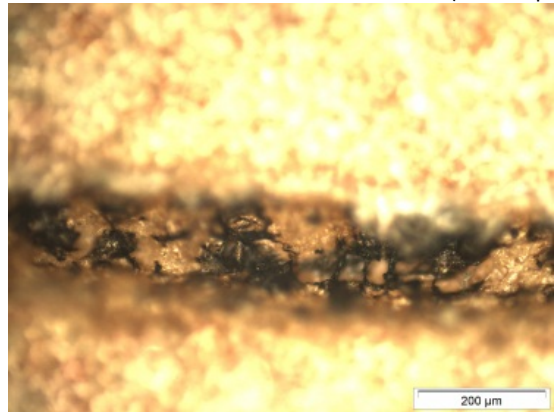
Posición 12 (PP=500 μ s; PW=17 μ s; %Duty= 3,4%)



Posición 13 (PP=500 μ s; PW=13 μ s; %Duty= 2,6%)



Posición 14 (PP=500 μ s; PW=14 μ s; %Duty= 2,8%)



Posición 15 (PP=500 μ s; PW=15 μ s; %Duty= 3%)

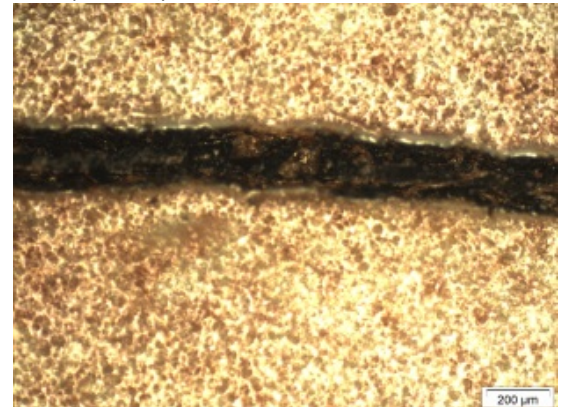
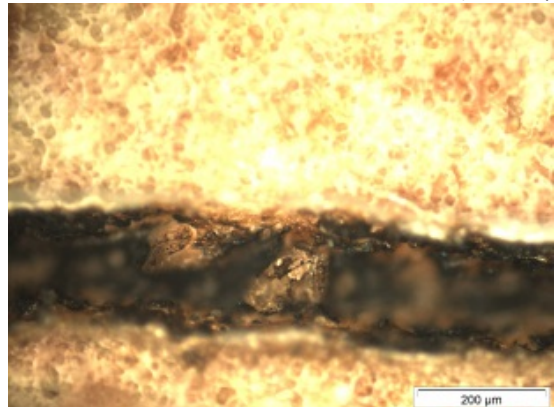
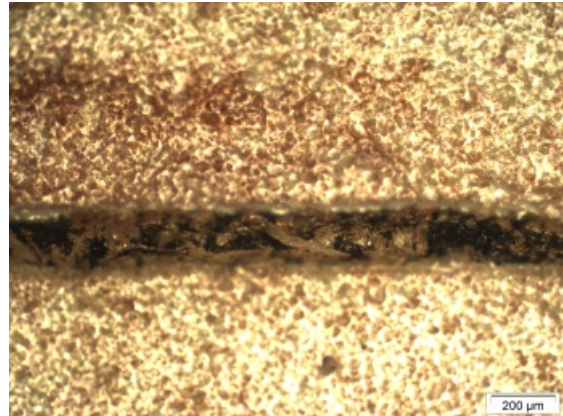
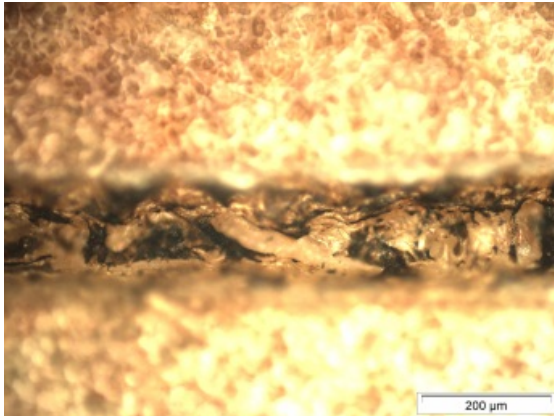
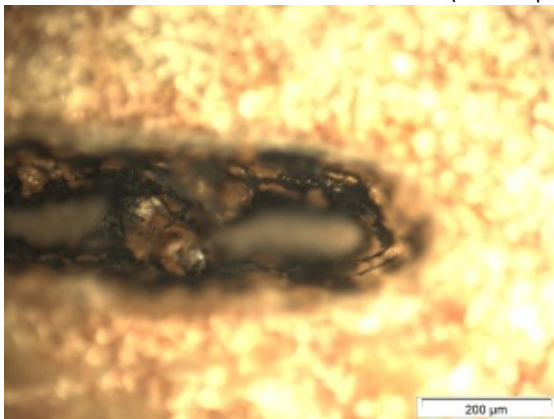


Tabla 21: Recopilación imágenes primer ensayo 3/4

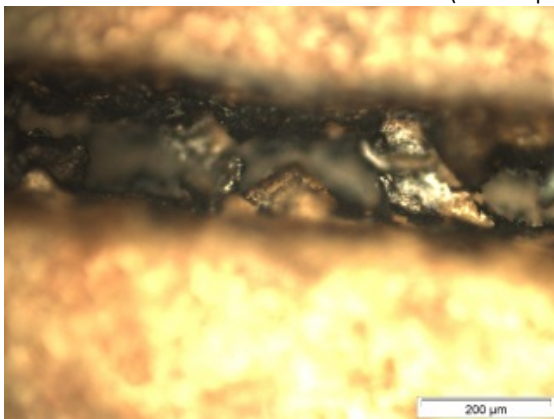
Posición 17 (PP=700 μ s; PW=18 μ s; %Duty= 2,6%)



Posición 18 (PP=700 μ s; PW=20 μ s; %Duty= 2,9%)



Posición 19 (PP=700 μ s; PW=22 μ s; %Duty= 3,1%)



Posición 20 (PP=700 μ s; PW=24 μ s; %Duty= 3,4%)

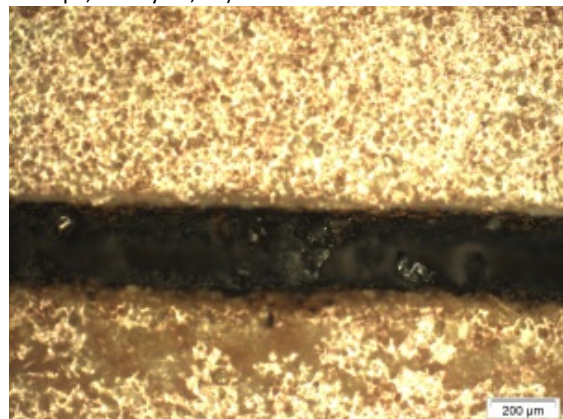
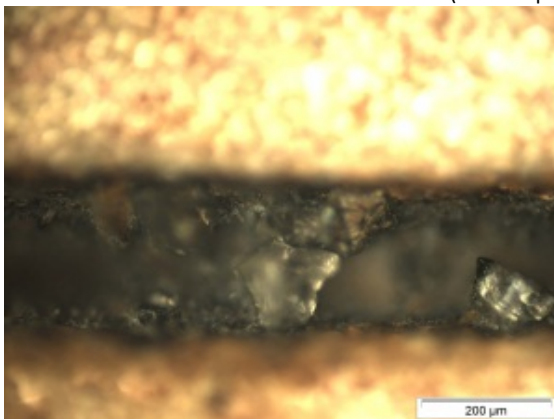


Tabla 22: Recopilación imágenes primer ensayo 4/4

En relación a la búsqueda de patrones que se repitiesen no se consiguió encontrar nada relevante al respecto. Se puede apreciar como existen distintas marcas tales como picos en algunas fotos (Posiciones 3, 6 8 y 12), pero no se consigue apreciar esto como un patrón que se repita.

Al finalizar el primer ensayo se buscan los parámetros más óptimos para continuar con el estudio, con respecto al PP no se aprecian diferencia entre unos parámetros y otros, se cree necesario la realización de más pruebas.

La elección de valores de $PW = (12, 20)\mu s$ vino condicionado porque en un inicio se quería marcas superficiales, y estos valores eran los que se considero más adecuados como se puede apreciar en las Posiciones 12, 13, 14 y 15. Más adelante está idea se abandonara para poder realizar el ensayo de medición de profundidades de las marcas.

3.2 Segundo ensayo: Comparación de parámetros.

Para progresar con el estudio se amplía el rango de pruebas a una probeta de cada tipo, con la realización de este estudio se busca comprobar que los parámetros estudiados antes son adecuados para una variedad de probetas y no solo para una sola probeta. Se prueban esos parámetros sobre distintas clases de probetas intentando uniformizar los ensayos.

La única elección de las probetas relevante es la de Clase C, la cual se decide cambiar con la intención de aumentar el rango de ensayos y tener dos probetas de clase C ensayadas, con esto no solo se puede comprobar las distintas clases entre sí, sino que además se comprueba el efecto del láser para una misma clase. El resto de probetas por su parte son escogidas según el orden asignado en la fase de adecuación de los materiales.

Las distintas marcas realizadas se exponen en la Tabla 23

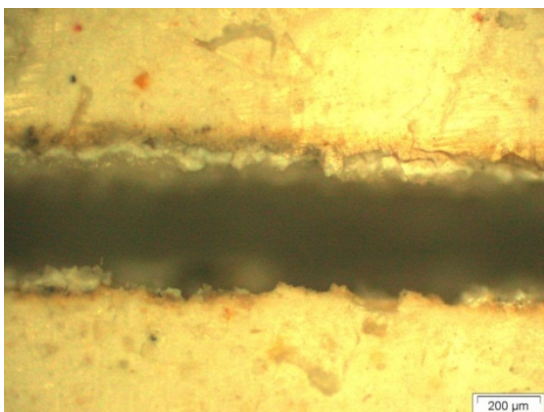
Prueba	PP [μ s]	PW [μ s]	%Duty
Posición 1	500	200	40
Posición 2	500	75	15
Posición 3	500	13	2,6
Posición 4	500	14	2,8
Posición 5	500	16	3,2
Posición 6	700	20	2,9
Posición 7	700	22	3,1
Posición 8	700	24	3,4
Posición 9	100	20	20
Posición 10	100	15	15
Posición 11	100	7	7
Posición 12	100	5	5

Tabla 23: Resumen pruebas segundo ensayo

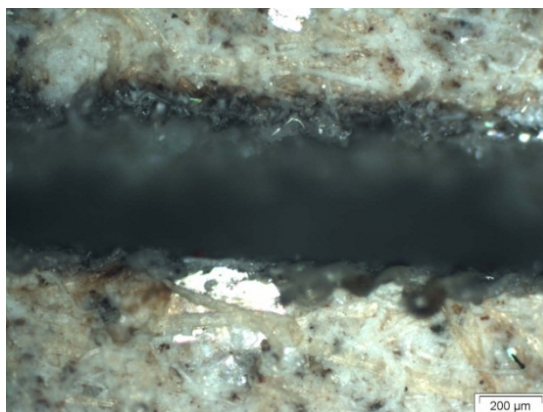
Al igual que en el anterior ensayo, se mostraran a continuación una selección reducida de las imágenes tomadas con el microscopio óptico. Estas imágenes son consideradas como las más relevantes de todas las tomadas, pero ha de mencionarse que todas ellas aportan información a los resultados.

Posición 1 (PP=500 μ s; PW=200 μ s; %Duty= 40%)

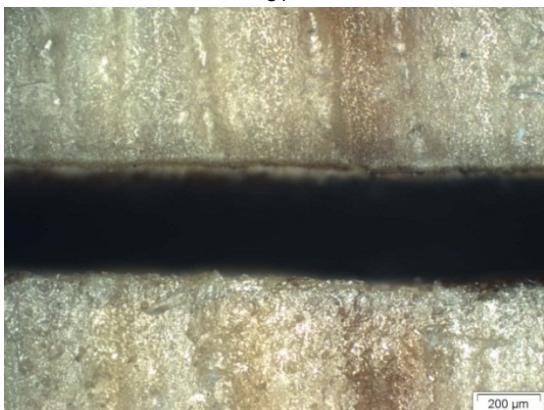
A1.1



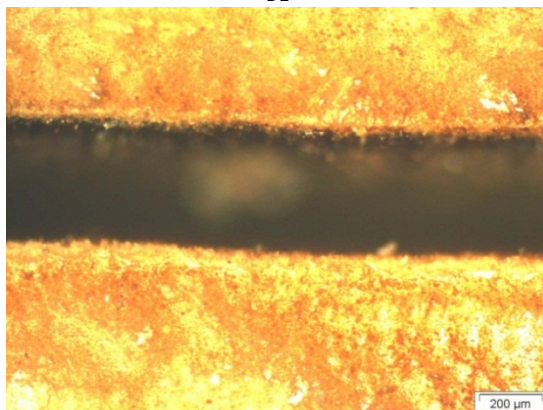
A2.1



C4

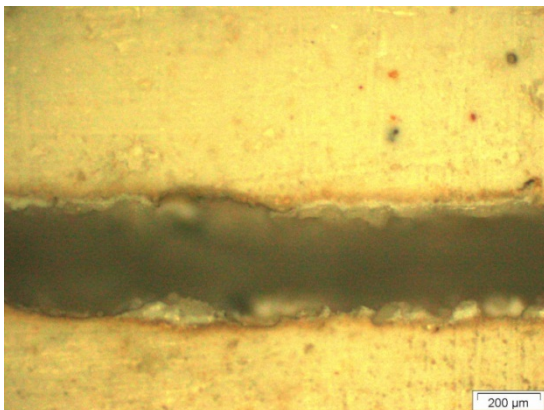


D1

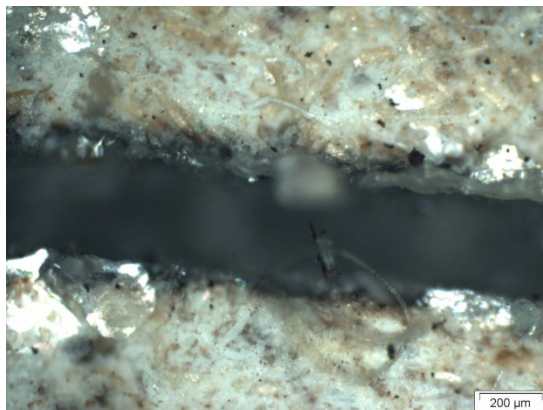


Posición 2 (PP=500 μ s; PW=75 μ s; %Duty= 15%)

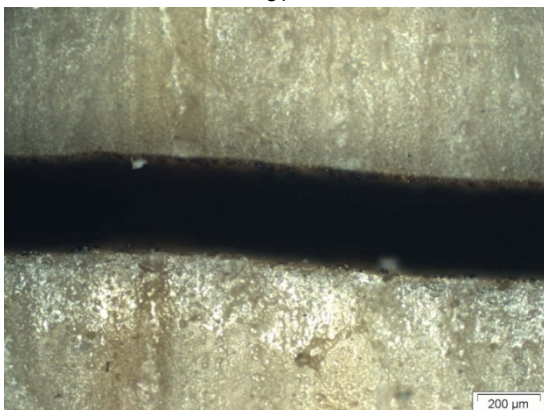
A1.1



A2.1



C4



D1

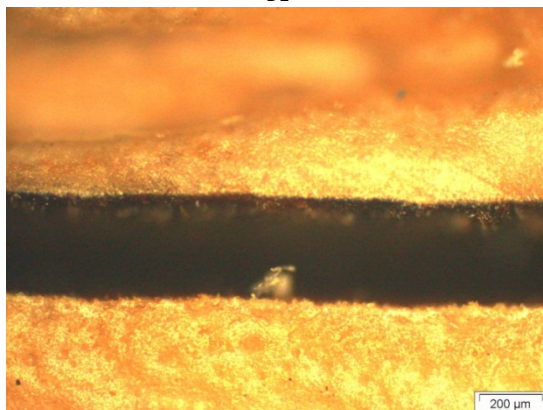
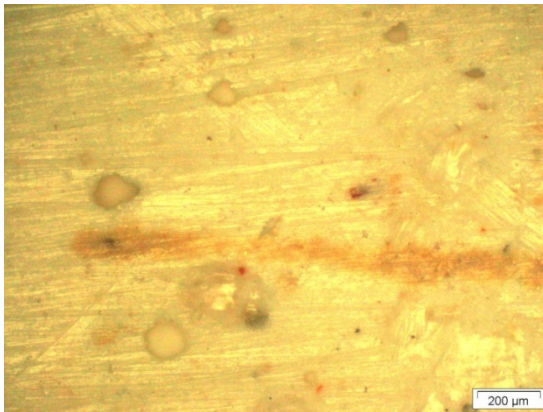


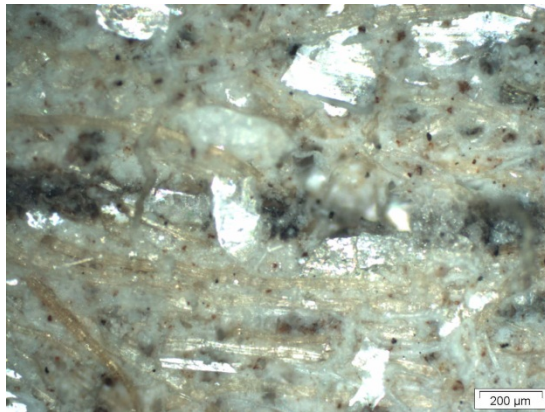
Tabla 24: Recopilación imágenes segundo ensayo 1/4

Posición 3 (PP=500 μ s; PW=13 μ s; %Duty= 2,6%)

A1.1



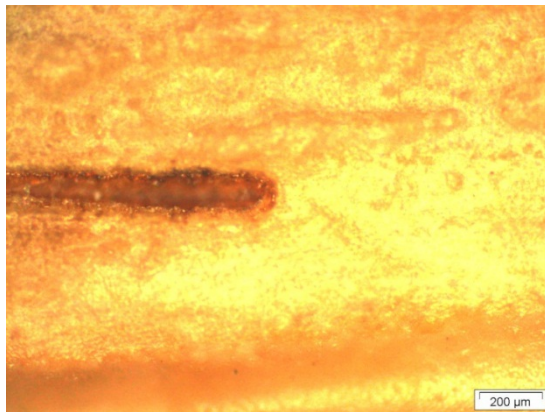
A2.1



C4

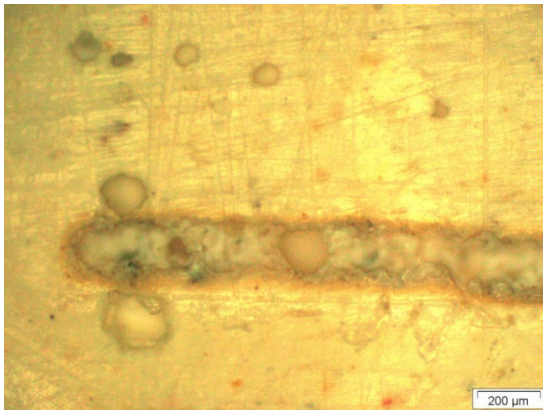


D1

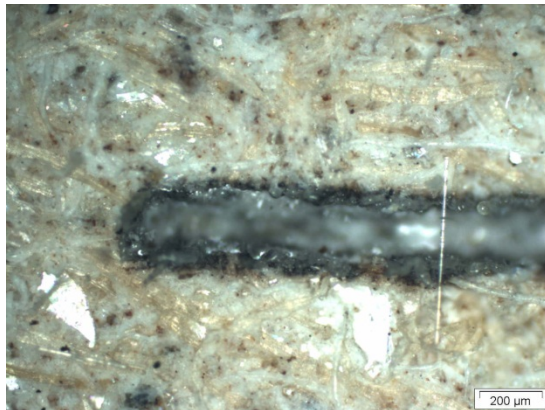


Posición 7 (PP=700 μ s; PW=22 μ s; %Duty= 3,1%)

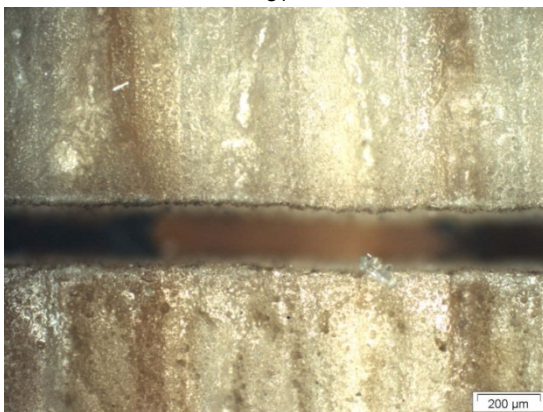
A1.1



A2.1



C4



D1

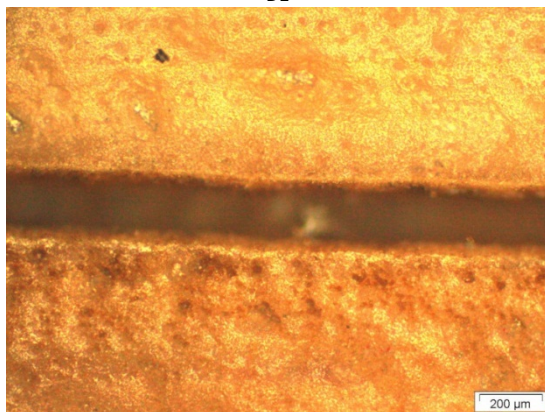
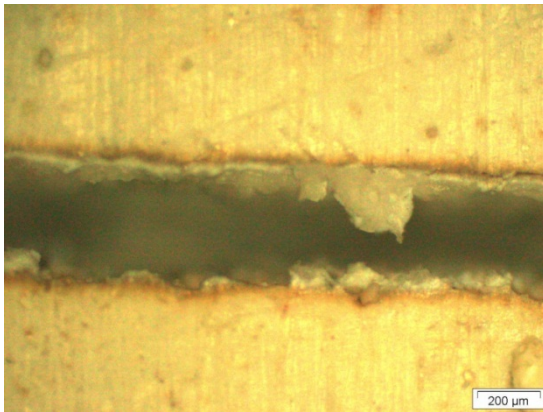


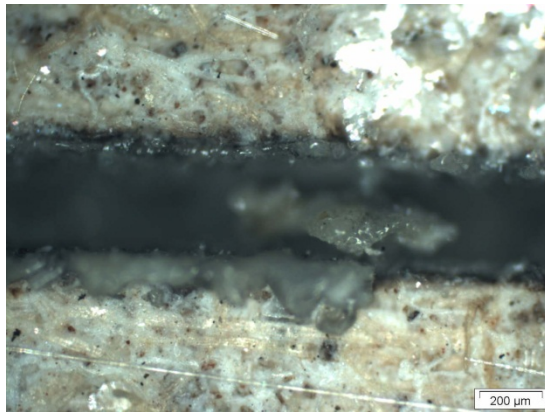
Tabla 25: Recopilación imágenes segundo ensayo 2/4

Posición 10 (PP=100 μ s; PW=15 μ s; %Duty= 15%)

A1.1



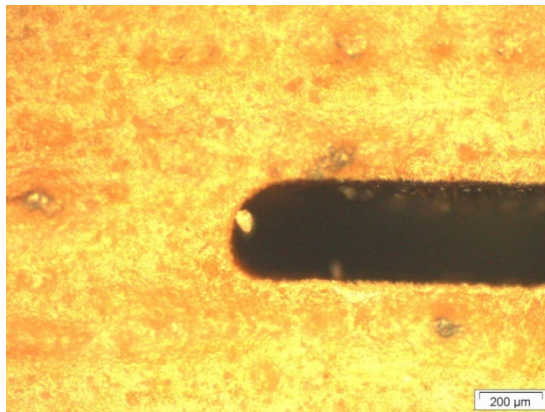
A2.1



C4

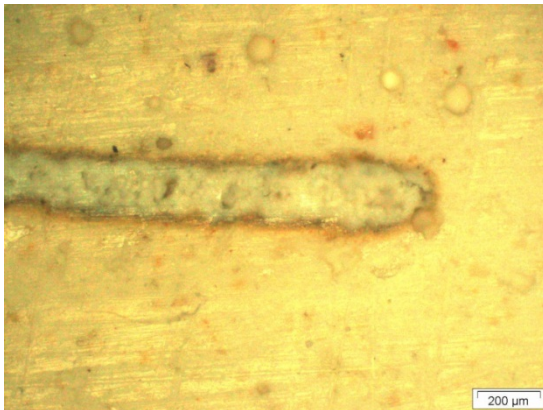


D1

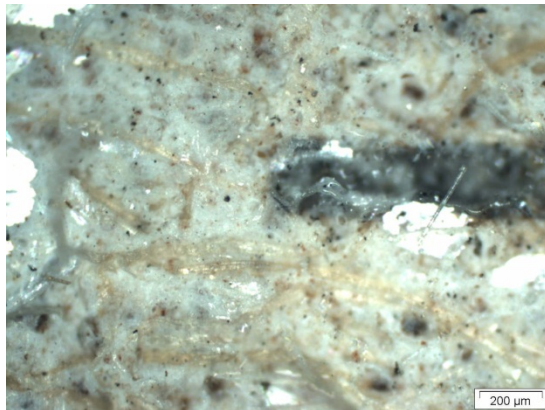


Posición 12 (PP=100 μ s; PW=5 μ s; %Duty= 5%)

A1.1



A2.1



C4



D1

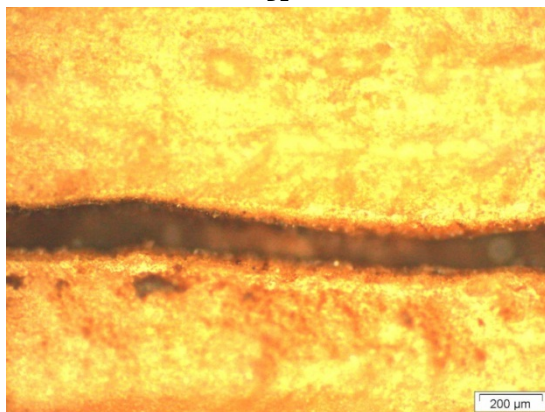
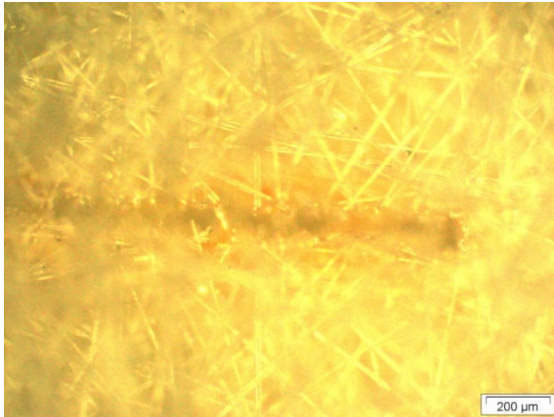


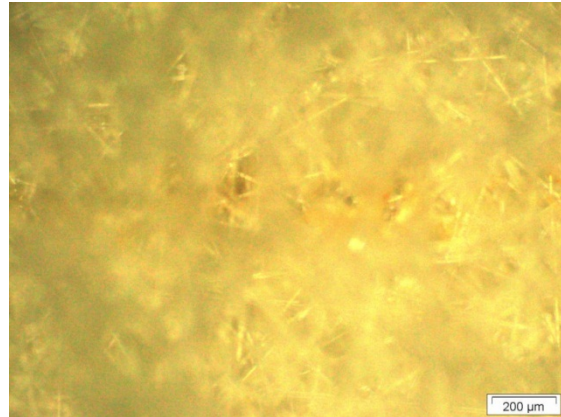
Tabla 26: Recopilación imágenes segundo ensayo 3/4

Probeta B1

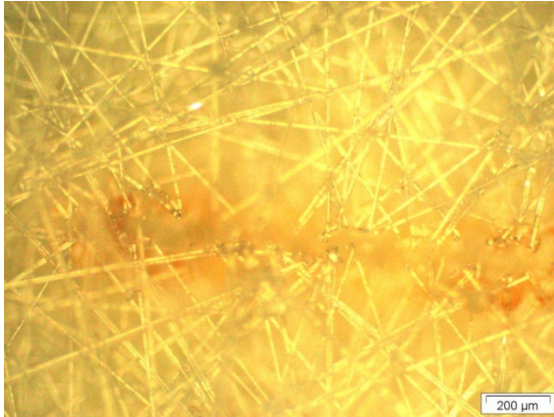
Posición 2 (PP=100 μ s; PW=5 μ s; %Duty=5%)



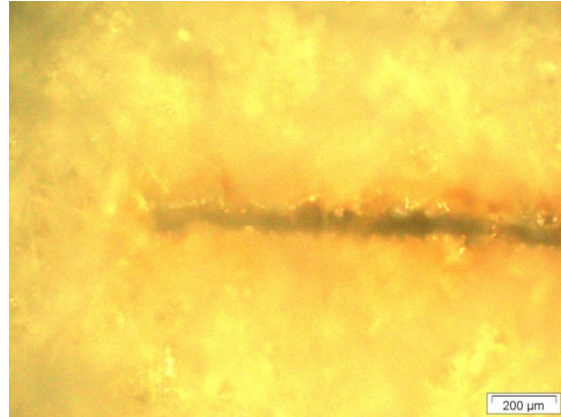
Posición 4 (PP=500 μ s; PW=14 μ s; %Duty= 2,8%)



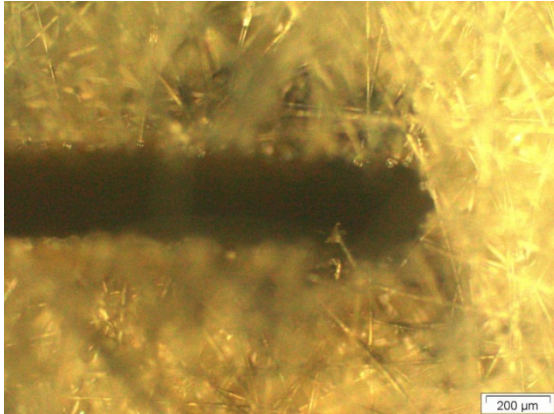
Posición 5 (PP=500 μ s; PW=16 μ s; %Duty= 3,2%)



Posición 8 (PP=700 μ s; PW=24 μ s; %Duty= 3,4%)



Posición 12 (PP=500 μ s; PW=200 μ s; %Duty=40%)



Posición 3 (PP=500 μ s; PW=13 μ s; %Duty= 2,6%)

No se aprecia marca visible

Tabla 27: Recopilación imágenes segundo ensayo 4/4

Analizando las imágenes presentadas (Tablas 24, 25 y 26) se pueden apreciar distintos aspectos. Cuando se tienen altos ciclos de carga, como es el caso de la posición 1 con 40%Duty, se observa una marca uniforme y bien definida en **C4** y **D1**, mientras **A1.1** y **A2.1** presentan marcas algo mas irregulares en los bordes. Esto es consecuencia de dos factores. El primero de ellos tiene que ver con su clasificación, los dos primero son materiales combustibles, mientras que los dos últimos son considerados como materiales no-combustibles. Esto se hace notar en las marcas, dado que las irregularidades son signo de este aguantar al fuego, mientras que la uniformidad presente en las probetas **C4** y **D1** deja entrever

su peor clasificación. El segundo factor de estas irregularidades es consecuencia de la fragilidad de los materiales. Mientras los materiales **C4** y **D1** son maderas, las cuales en general presentan buenas propiedades de resistencia mecánica y resiliencia. Los materiales **A1.1** y **A2.1** son compuestos de silicatos y cementos. Estos tipos de compuestos tienden a ser frágiles [37].

Para el marcado realizado en la posición 3 ($PP=500\ \mu s$; $PW=13\mu s$; $\%Duty= 2,6\%$), se observan una marcas superficiales casi inexistentes, de hecho las marcas son casi inapreciables al ojo humano. Esto defiende la existencia de un limite cercano a 2% de Duty que se observa en el primer experimente.

Por último, si se realiza una observación generalizada de las imágenes, se aprecia una tendencia en las marcas dejadas por el láser a intensificarse con las probetas de peor clasificación. De manera significativa se puede apreciar en las posiciones 7 y 12 en las cuales las marcas en las probetas **A1.1** y **A2.2** son superficiales, mientras que en las probetas **C4** y **D1** esta marca adquiere profundidad.

Otro resultado obtenido de este ensayo fue el descarte del material **A1.2**, debido a que el láser no produce ningún efecto apreciable sobre el material. Esto es debido a que el láser de CO2 no es apto para trabajar el Aluminio debido a que es muy reflectante en espectro de trabajo del láser. De hecho un láser de CO2 raramente se usa para cortar aluminio ya que presenta un elevado porcentaje de reflexión, pudiendo llegar al 99% a temperatura ambiente. En el caso del aluminio, se suele cortar con un láser de Nd-YAG [32, 34].

El material denominado como **B1** presenta dos inconvenientes. Ambos vienen dados por el hecho de ser un material no muy densamente compactado a base de hilos. Debido a esto cuando se aplicó el láser se produjeron pequeñas llamaradas dentro del mismo, se puede apreciar en Tabla 27 “Posición 12”. Esto desvirtúa los resultados. El segundo inconveniente es la dificultad de obtención de imágenes claras en el microscopio, esto dificulta la observación y toma de medidas. Debido a estos dos inconvenientes se decide no seguir usando este material.

Por último, el material **A2.2** tampoco se decide usar debido a dos motivos. El primero tiene que ver con sus propiedades mecánicas, es demasiado frágil en su capa superficial y se deshace al tocarlo. Esto hace que trabajar con este material sea demasiado complicado. El segundo motivo es que no posee marcado **CE** de conformidad.

3.3 Tercer ensayo: Estudio de la zona afectada por el láser.

Debido a que los resultados obtenidos hasta el momento no son muy concluyentes, se toma la decisión de buscar una vía alternativa. Se considera la posible relevancia en los resultados de la zona afectada por el láser, por ello se decide realizar un estudio para determinar como de amplia es esta zona.

Para poder realizar este ensayo hay que efectuar una toma de imágenes previa al marcado y luego una posterior. Esto plantea un problema debido a que la zona abarcado por una imagen esta en torno a $1,7 \times 1,3 \text{ mm}^2$, con lo que realizar la marca justo donde se ha tomado la imagen es una tarea complicada. Para subsanar este problema se realizan marcas con forma rectangular usando un lápiz 2H, las marcas realizadas son de 1 cm^2 aproximadamente. Se toman imágenes de la superficie antes y después de marcar con el láser.

Como se puede comprobar más adelantes, ni siquiera usando este procedimiento se obtuvo la precisión deseada y en algunas imágenes solo aparece la marca en un borde.

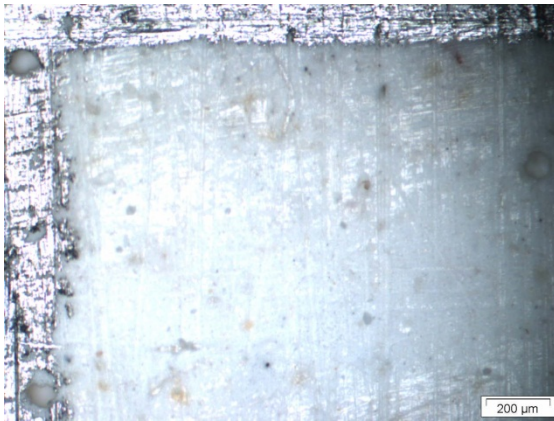
Se reitera de nuevo en el hecho de que las imágenes a continuación presentadas son solo una pequeña selección de todas las disponibles. Además en este ensayo se marcan todas las probetas para a su vez corroborar los resultados obtenidos anteriormente.

Como último dato destacar que se realizaron dos marcas en cada probeta.

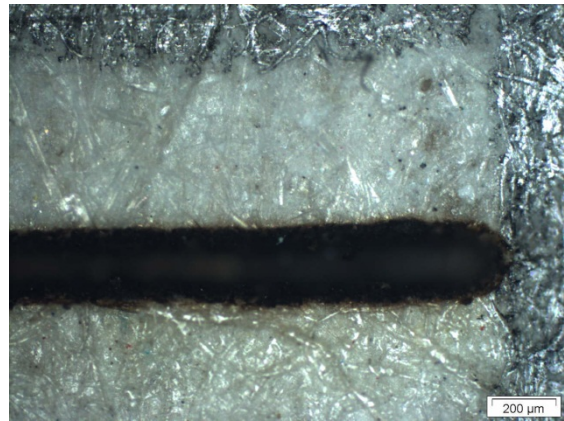
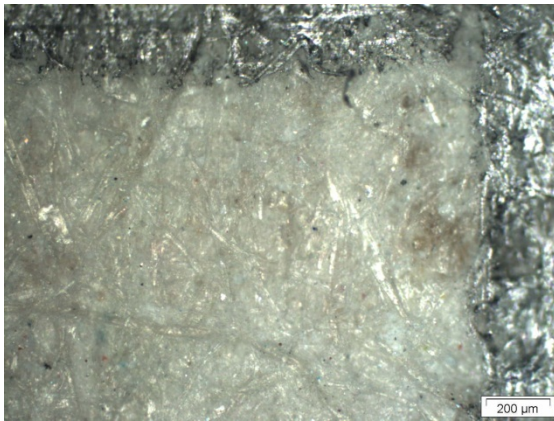
	PP (μs)	PW (μs)	%Duty
Posición 1	500	15	3,0
Posición 2	---	---	---
Posición 3	---	---	---
Posición 4	500	22	4,4

Tabla 28: Parámetros láser tercer ensayo

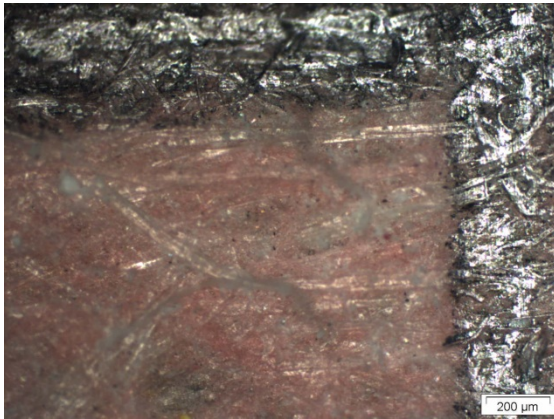
Posición 1
Probeta A1.1



Probeta A2.3



Probeta A2.4



Probeta C2

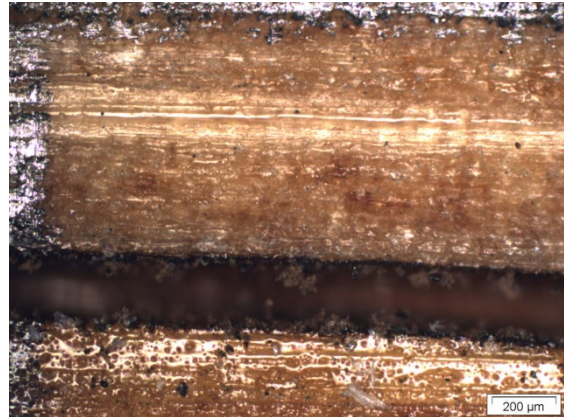
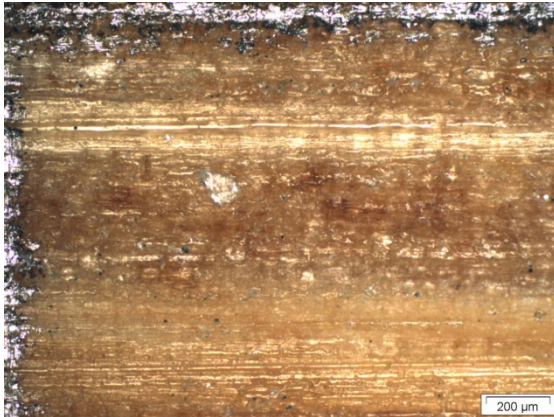
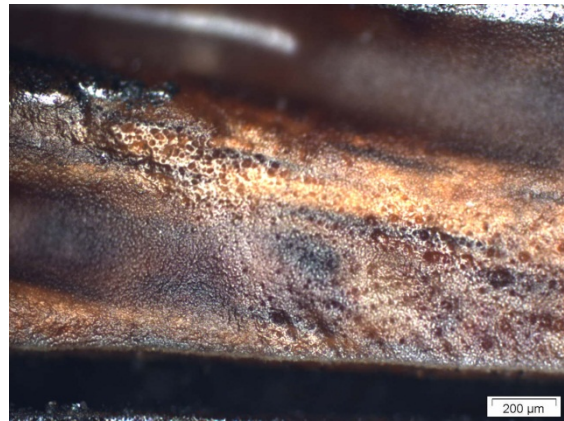
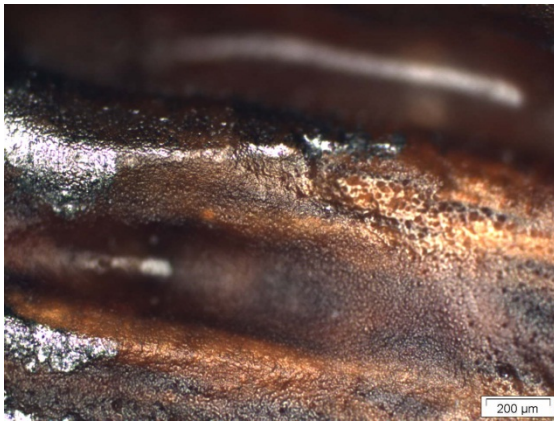
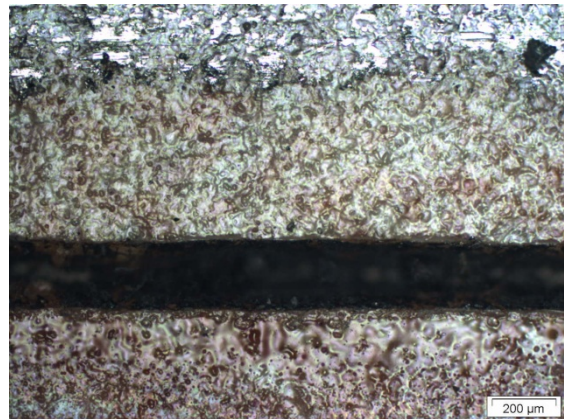
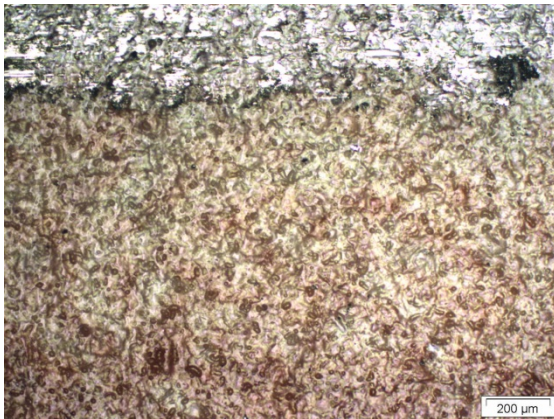


Tabla 29: Recopilación imágenes tercer ensayo 1/4

Posición 1
Probeta C5



Probeta C6



Probeta D1

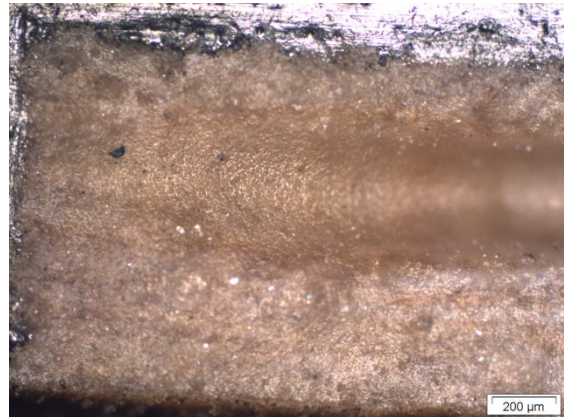
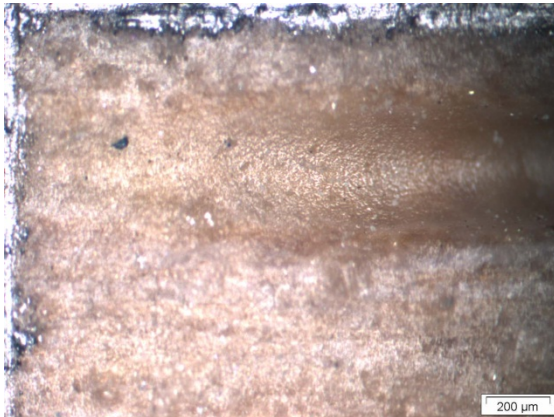
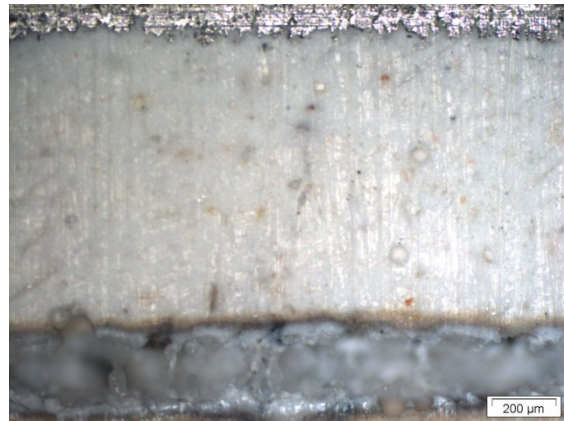
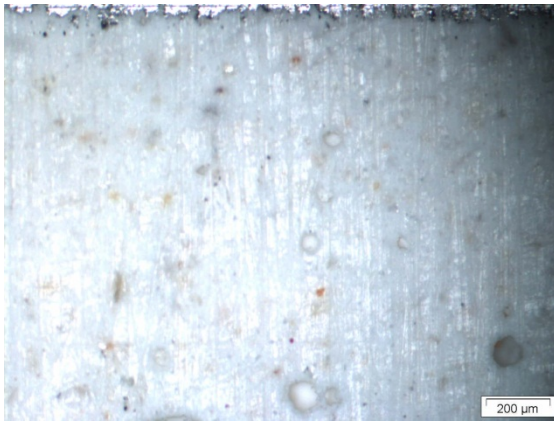


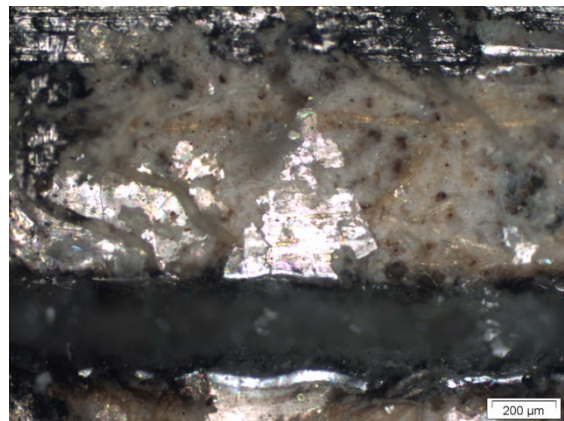
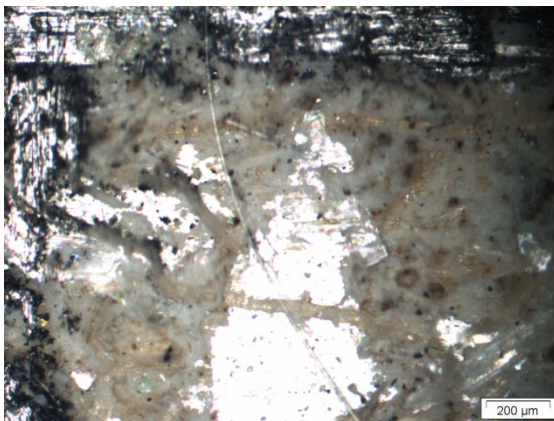
Tabla 30: Recopilación imágenes tercer ensayo 2/4

En estos dos primeros grupos de imágenes (Tablas 29 y 30), se aprecia que el tamaño de la zona afectada se restringe al ancho de el haz láser. No se aprecia en ningún caso que está zona se amplié más allá de la propia marca. Esto queda patente en imágenes como las referentes a la Probeta **A1.1**-Posición 4 (Tabla 31) en las que los mas mínimos detalles sobre la superficie quedan inalterados después de aplicar el láser, incluso aquello que están a distancias inferiores a 100µm.

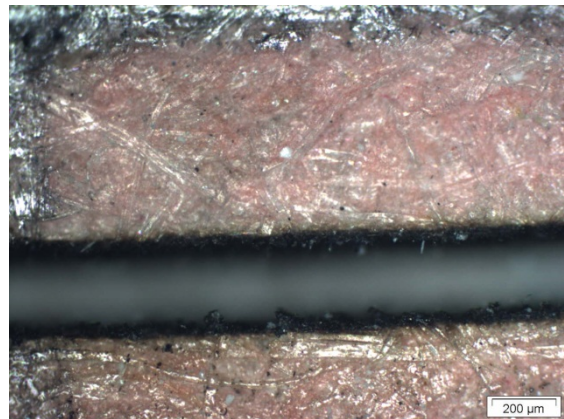
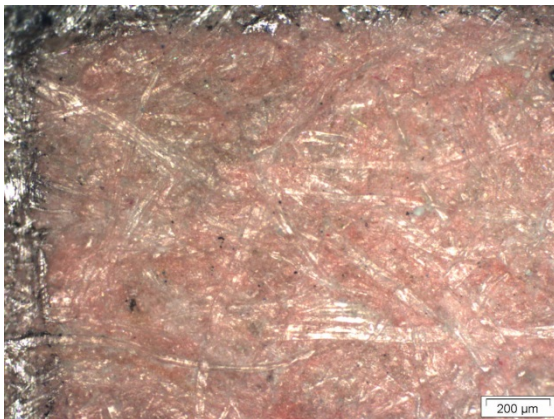
Posición 4
Probeta A1.1



Probeta A2.1



Probeta A2.4



Probeta C5

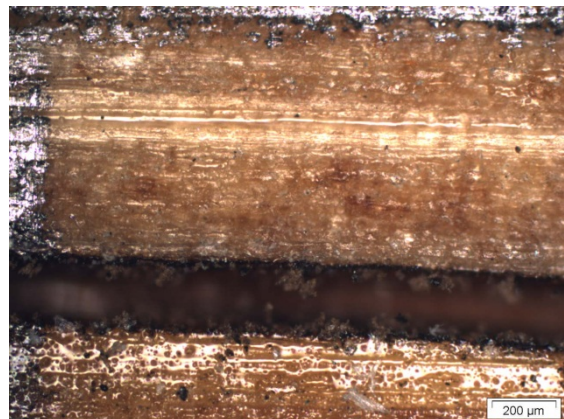
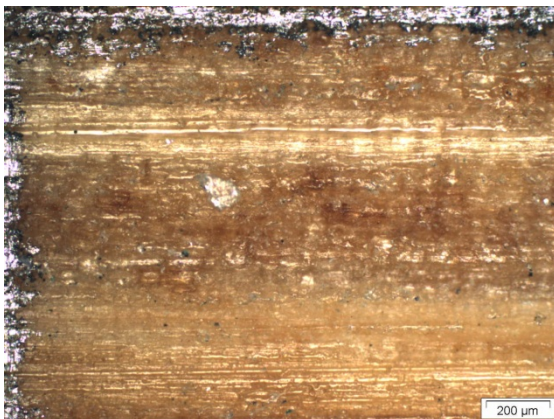


Tabla 31: Recopilación imágenes tercer ensayo 3/4

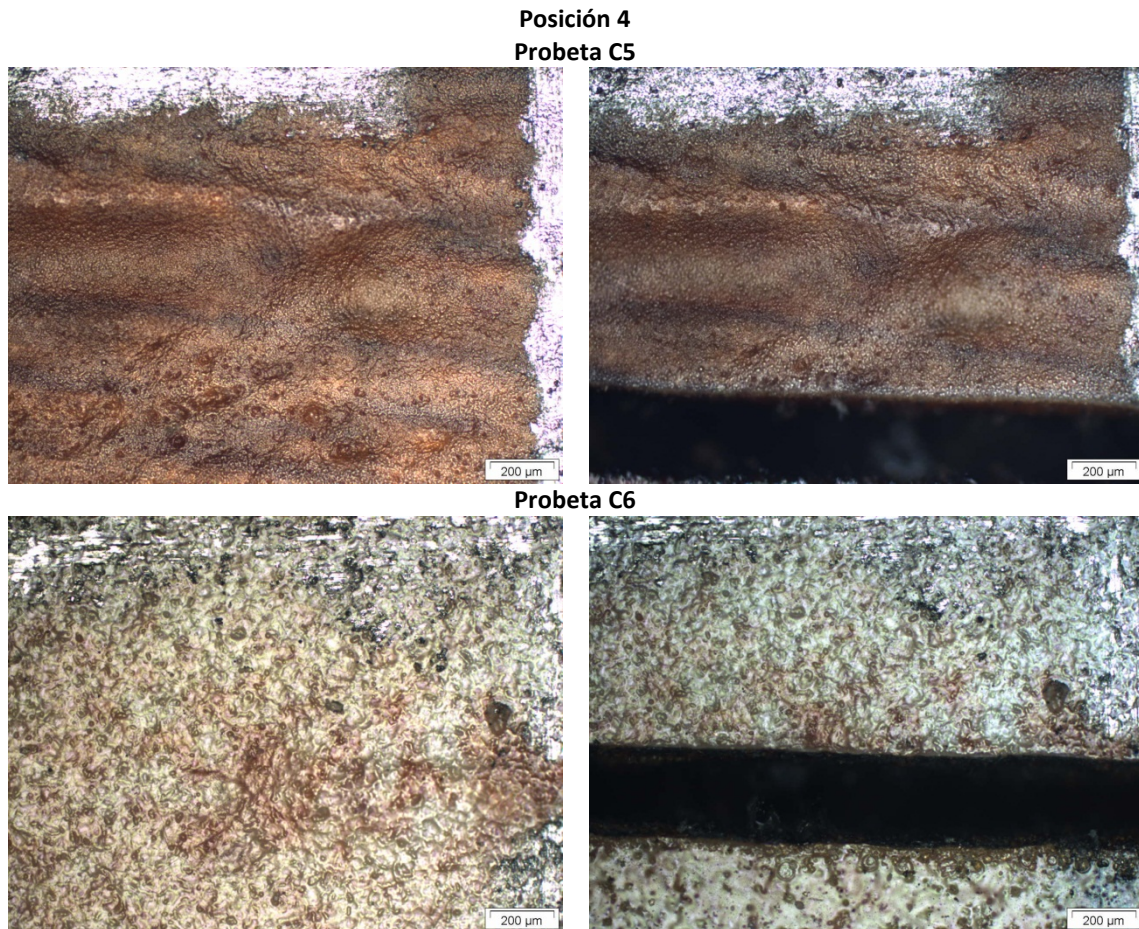


Tabla 32: Recopilación imágenes tercer ensayo 4/4

Queda determinado que la zona de afectación por el láser está reducida a el ancho de la marca dejada por el mismo y no tiene influencia visible en la zona colindante.

Conjuntamente a este estudio, se puede obtener otros resultados. Si se observa las imágenes de la Probeta **A1.1** y se la compara con el resto, se aprecia cualitativamente su mejor reacción al fuego. Esto se hace más patente en la Probeta **A1.1**-Poscion 1 en la que el láser no ha dejado más que una marca superficial sin apenas profundidad, mientras que en el resto de probetas el láser ha penetrado en mayor o menor grado.

A la conclusión de este estudio se hace notable la necesidad de unos estudios relativos al ancho y profundidad de las marcas dejadas por el láser. Estos estudios se realizarán conjuntamente aunque son explicados por separado debido a su relevancia individual en los resultados.

3.4 Cuarto ensayo: Medición del ancho.

Este estudio se basa en la relación entre el tamaño transversal dejado por el láser en las probetas y el %Duty. Se quiere verificar si el ancho de la marca dejado por el láser tiene correlación con la clase de probeta. Para poder realizarlo se marcan las probetas con los siguientes parámetros.

	PP (μ s)	PW (μ s)	%Duty
Posición 1	500	50	10
Posición 2	500	75	15
Posición 3	500	110	22
Posición 4	500	150	30
Posición 5	500	200	40
Posición 6	500	250	50
Posición 1.2	500	15	3,0
Posición 2.2	---	---	---
Posición 3.2	---	---	---
Posición 4.2	500	22	4,4

Tabla 33: Parámetros láser ensayos cuarto y quinto

De la realización del ensayo se obtienen los siguiente datos, los cuales han sido medido usando la escala estampada en las imágenes.

Probeta	Pos. 1.2	Pos. 4.2	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6
	[μ m]							
A1.1	130 \pm 10	250 \pm 20	320 \pm 30	340 \pm 30	370 \pm 30	400 \pm 30	460 \pm 40	480 \pm 40
A2.1	180 \pm 20	260 \pm 20	330 \pm 30	360 \pm 30	380 \pm 30	380 \pm 30	470 \pm 40	490 \pm 40
A2.3	170 \pm 20	250 \pm 20	320 \pm 30	340 \pm 30	400 \pm 30	420 \pm 40	440 \pm 40	470 \pm 40
A2.4	170 \pm 20	250 \pm 20	320 \pm 30	350 \pm 30	380 \pm 30	410 \pm 40	470 \pm 40	490 \pm 40
C1	160 \pm 20	240 \pm 20	310 \pm 30	350 \pm 30	400 \pm 30	420 \pm 40	460 \pm 40	---
C2	200 \pm 20	280 \pm 30	350 \pm 30	370 \pm 30	400 \pm 30	430 \pm 40	440 \pm 40	460 \pm 40
C3	150 \pm 20	280 \pm 30	360 \pm 30	390 \pm 30	450 \pm 40	490 \pm 40	480 \pm 40	520 \pm 40
C4	200 \pm 20	280 \pm 30	350 \pm 30	370 \pm 30	400 \pm 30	430 \pm 40	450 \pm 40	---
C5	170 \pm 20	250 \pm 20	320 \pm 30	350 \pm 30	380 \pm 30	400 \pm 30	430 \pm 40	440 \pm 40
C6	200 \pm 20	280 \pm 30	350 \pm 30	370 \pm 30	440 \pm 40	490 \pm 40	---	---
D1	210 \pm 20	290 \pm 30	360 \pm 30	380 \pm 30	420 \pm 40	460 \pm 40	---	---
D2	170 \pm 20	250 \pm 20	320 \pm 30	420 \pm 40	430 \pm 40	450 \pm 40	460 \pm 40	---

Tabla 34: Datos anchos.

Se muestra a continuación una breve recopilación de las imágenes tomadas al microscopio, únicamente de dos de las probetas. Esto es debido a que el resto de imágenes, aun siendo necesarias para poder medir el ancho de las marcas, no aportan nada nuevo a lo ya visto anteriormente, por ello y para no ser repetitivo, se han omitido.

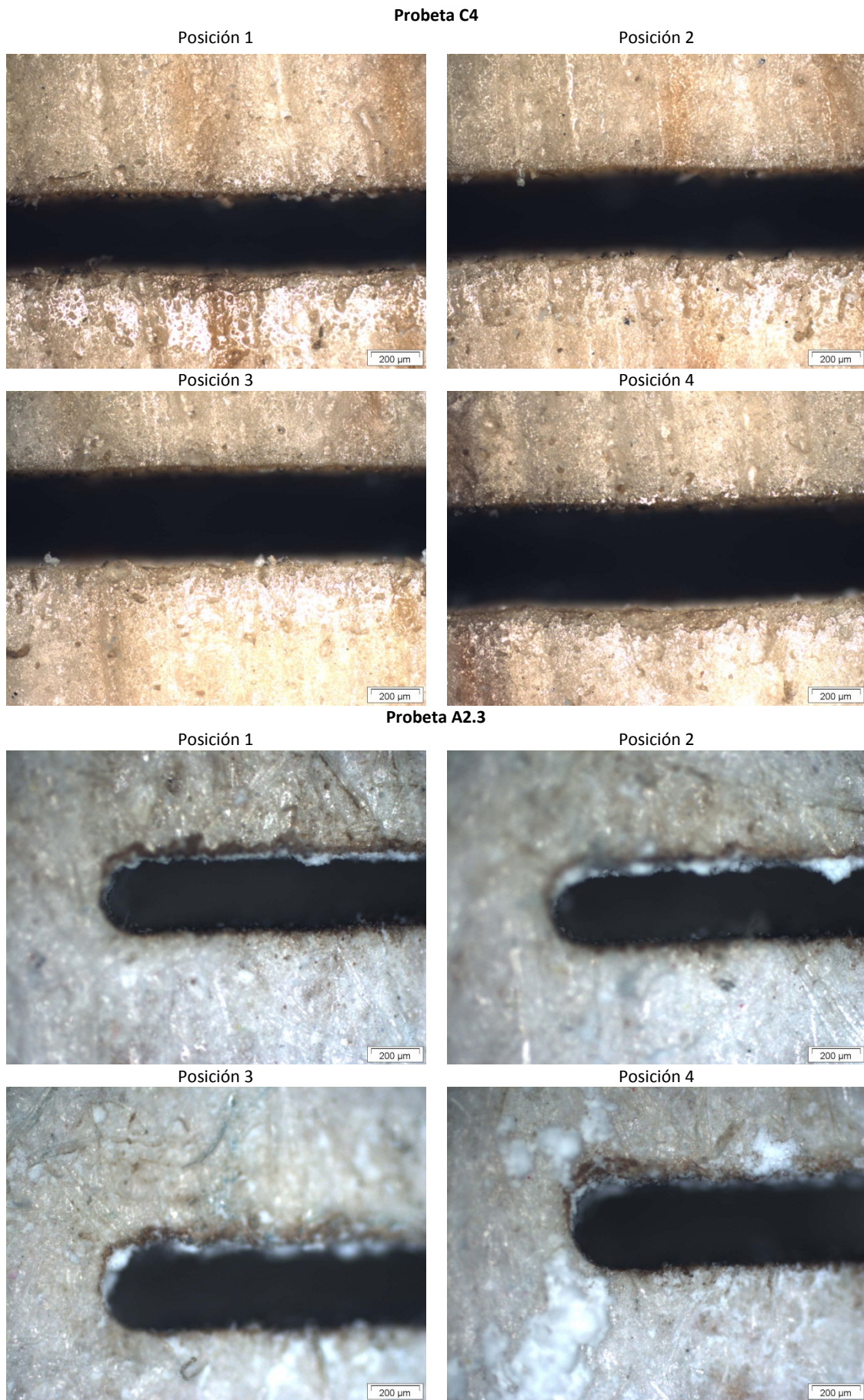


Tabla 35: Recopilación imágenes cuarto ensayo

De los resultados resumidos en la Tabla 34 se obtiene la siguiente grafica que clarifica los mismos.

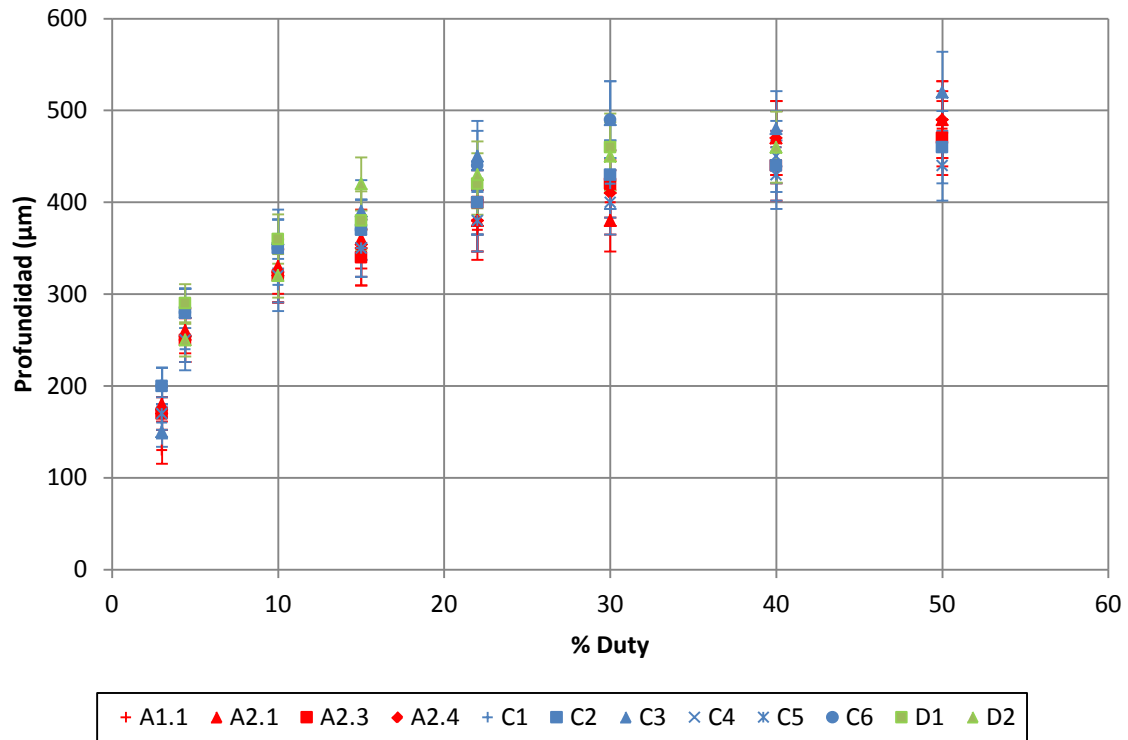


Fig. 11: Medida del ancho

En la grafica anterior se puede apreciar una marcada tendencia exponencial en la relación que existe entre el ancho de la marca dejada por el láser y el ciclo de carga. Se puede observar como cuando el ciclo de carga se acerca a 0% la profundidad disminuye drásticamente, tendiendo a cero, algo lógico dado que si no tenemos carga obviamente no existirá ninguna marca y en cuanto apliquemos una ligera carga aparecerá una pequeña marca que dará un ancho apreciable. Es a partir de la aparición de la primera marca cuando el crecimiento del ancho se suaviza y crece de manera más débil, apreciando una tendencia horizontal con mayores cargas. Esto último tiene bastante sentido debido a que por mucho que aumentásemos el ciclo de carga del láser, y por tanto la potencia, llegaría un momento que el ancho no aumentaría más debido a las propias restricciones del equipo.

Sin embargo apenas se puede diferenciar entre las distintas clases de probetas, las cuales están bastante superpuestas y que en el mejor de los casos se aprecia una diferencia de ancho de 100μm entre las probetas extremas. Todo ello hace descartar este ensayo de cara al objetivo del proyecto. No obstante los resultados explicados anteriormente hacen pensar que los materiales elegidos tienen una primera interacción superficial con el láser parecida, debido a que la marca mas superficial dejada por el láser es muy pareja en los distintos materiales.

3.5 Quinto ensayo: Medida de la profundidad.

El quinto y último ensayo realizado es en el que se obtienen los resultados más concluyentes de todos. Aunque se realizó a la vez que el anterior, se han descrito por separado debido a su relevancia en el estudio. Los parámetros usados en el láser son los mostrados en la Tabla 33.

Para poder realizar un análisis más exhaustivo se dividirán los datos en tres grupos, correspondientes a su clasificación frente al fuego, para una mejor comprensión del problema.

3.5.1 Materiales Clase A.

Se comenzará por las probetas Clase A. Se muestra primero algunas de las imágenes adquiridas con el microscopio para la medida de la profundidad. A continuación una tabla con los datos sobre la profundidad y por último una gráfica resumiendo los datos.

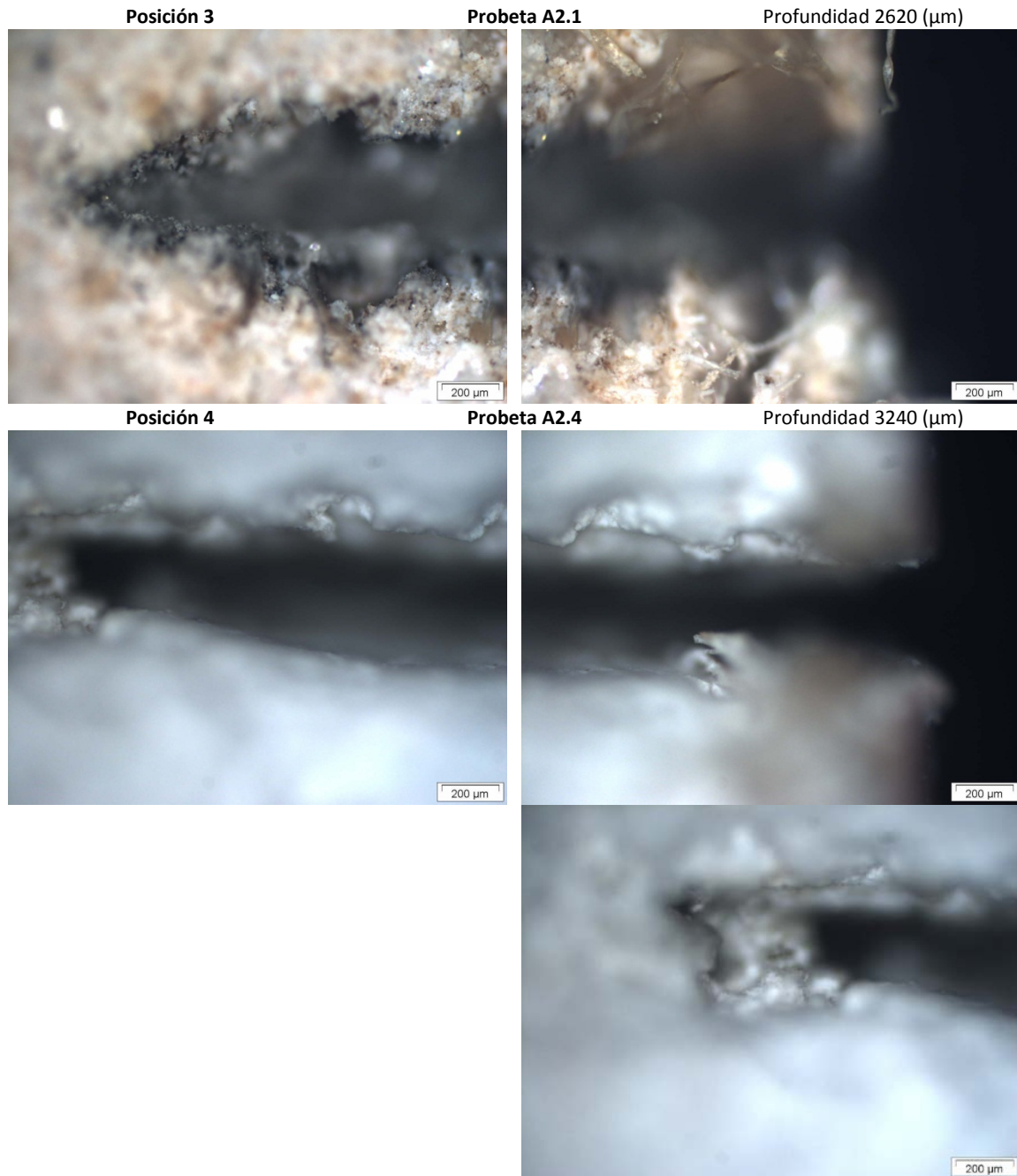


Tabla 36: Recopilación imágenes quinto ensayo Clase A

La calidad de las imágenes no es la mas optima, esto pone en evidencia la dificultad de obtener datos exactos, para poder subsanar esta situación en la medida de los posible se toman las siguiente precauciones.

- Se preparan las probetas antes de la toma de imágenes, cortándolas y limándolas con el mayor cuidado. Aun así el material presenta irregularidades lo que dificulta la toma de imágenes nítidas.

Probeta	Pos. 1.2	Pos. 4.2	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6
	[μm]							
A1.1	160±20	180±20	920±70	1020±80	1700±100	3200±200	4000±300	4700±400
A2.1	270±20	360±30	1110±90	1500±100	2600±200	3100±200	3500±300	4100±300
A2.3	220±20	340±30	1400±100	2700±200	3200±200	3900±300	5600±400	7300±600
A2.4	240±20	350±30	1300±100	1900±100	2500±200	3300±300	5300±400	7000±500

Tabla 37: Datos Profundidades clase A.

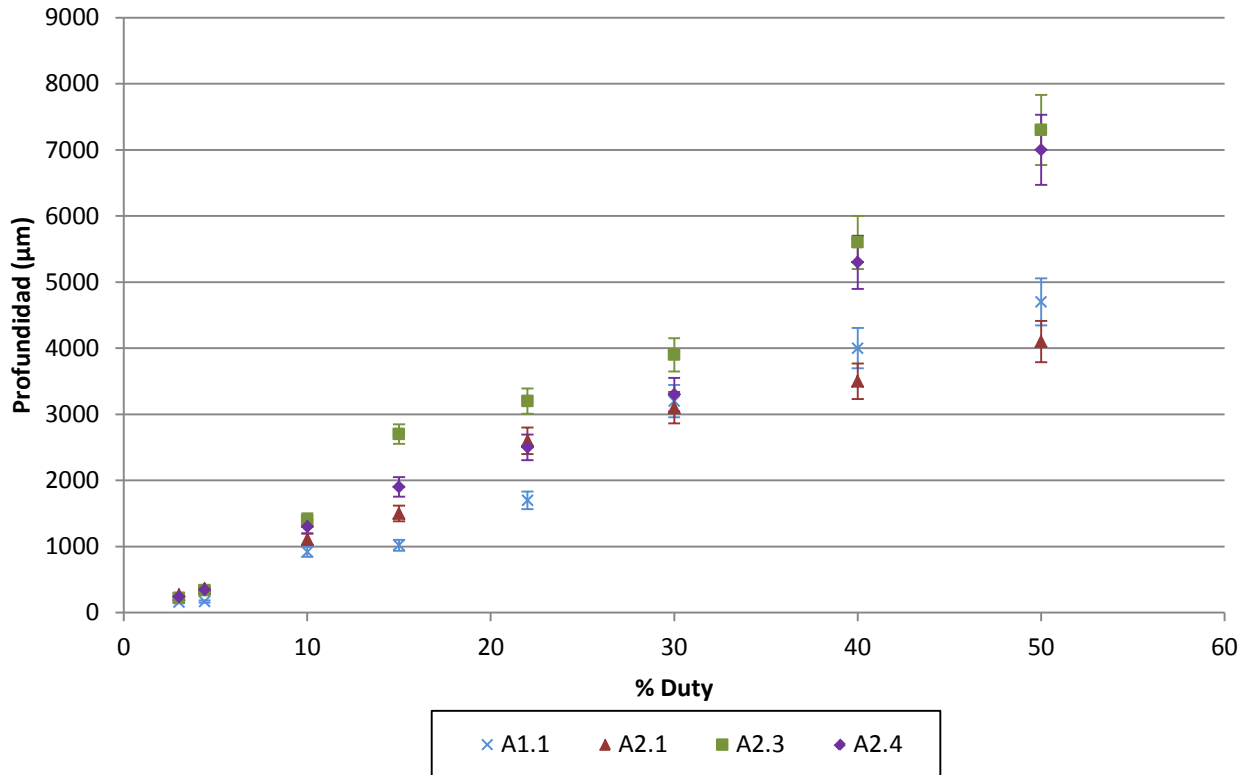


Fig. 12: Medida de la profundidad. Clase A

En la Fig. 12 se tiene la representación de la profundidad medida en las probetas con respecto a la carga del láser, se puede apreciar una marcada tendencia lineal y unos datos bastantes homogéneos. Lo que más llama la atención es el echo de que la probeta de Clase **A1** este por debajo de las de Clase **A2**, esto sería lo esperable debido a que tiene una clasificación mejor frente al fuego y por lo tanto su profundidad debería de ser menor.

Si se hace una observación mas detenida para los materiales **A2.3** y **A2.4** se observa una dualidad interesante. Se recuerda al lector que son materiales francamente parecidos a excepción de que el material **A2.4** incorpora fibra de vidrio, lo que le hace más resistente al fuego y así es como lo refleja el estudio. Todo ello hace pensar que el estudio se esta realizando correctamente, pudiendo acreditar cierta repetitividad de los ensayos y reflejando que un material a priori más resistente que otro es confirmado por el estudio.

Se muestra a continuación los materiales de las Clases C y D siguiendo el mismo esquema que con los materiales de Clase A.

3.5.2 Materiales Clase C.

Probeta	Pos. 1.2	Pos. 4.2	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6
	[μm]							
C1	350±30	570±50	2700±200	4500±300	6500±500	7700±600	>10000	----
C2	270±20	630±50	1800±100	2500±200	6400±500	7400±600	8700±700	11600±900
C3	350±30	430±40	820±70	2200±200	2800±200	4500±300	5800±400	8900±700
C4	210±20	290±30	1900±100	2900±200	4100±300	5000±400	6900±500	----
C5	140±20	470±40	2100±200	3500±300	4800±400	5900±400	8800±700	9900±700
C6	90±10	390±30	2000±200	3700±300	5700±400	6600±500	----	----

Tabla 38: Datos Profundidades clase C.

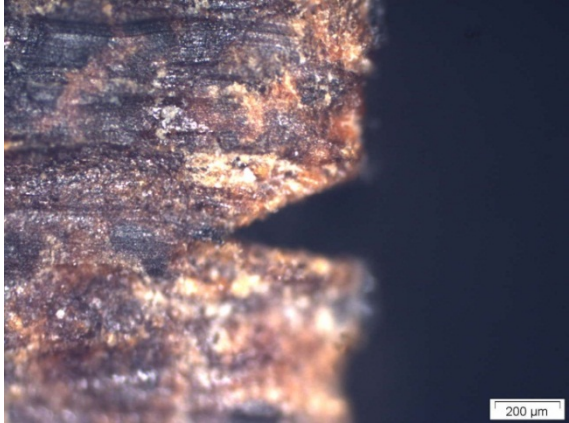




Posición 4.2	Probeta C3	Profundidad 430 (μm)
		
Posición 2	Probeta C4	Profundidad 2850 (μm)
 		
Posición 1	Probeta C6	Profundidad 1945 (μm)
 		

Tabla 39: Recopilación imágenes quinto ensayo Clase C

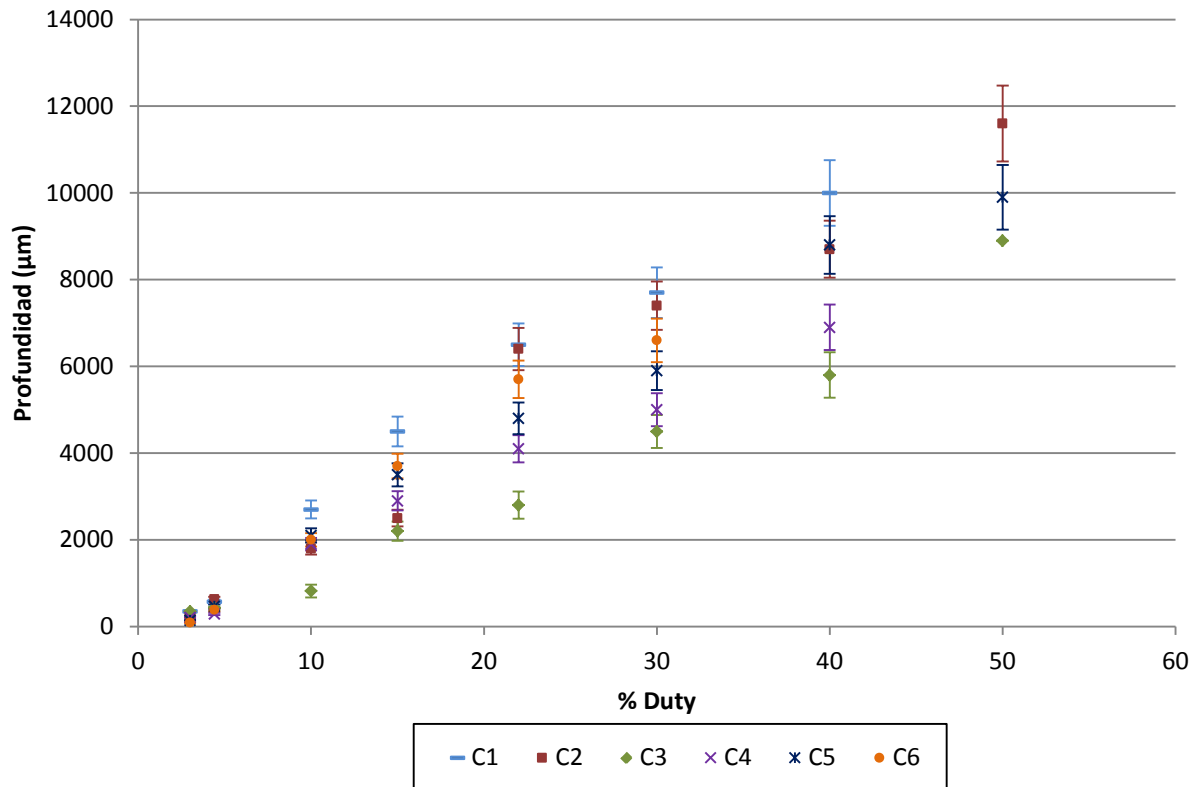


Fig. 13: Medida de la profundidad. Clase C

Se puede observar, al igual que en el caso anterior, una tendencia lineal de los datos. Los datos se agrupan bastante bien, lo cual hace pensar en la validez del método. Se puede intuir la agrupación en un pequeño sector circular con centro en el origen de coordenadas.

En principio puede parecer que los ensayos con ciclos de carga bajos son mejores con ciclos de carga altos debido a la homogeneidad de los datos. Mas adelante se demuestra que esto no es así dado que para ciclos bajos, los distintos materiales se entremezclan y no se obtiene ningún resultado concluyente.

3.5.3 Materiales Clase D.

Por último se muestran los resultados para los materiales de clase D.

Probeta	Pos. 4.2	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5
	[μm]					
D1	360±30	3300±300	5500±400	6800±500	> 10000	----
D2	920±70	4500±300	5600±400	8500±600	11500±900	> 14000

Tabla 40: Datos Profundidades clase D.

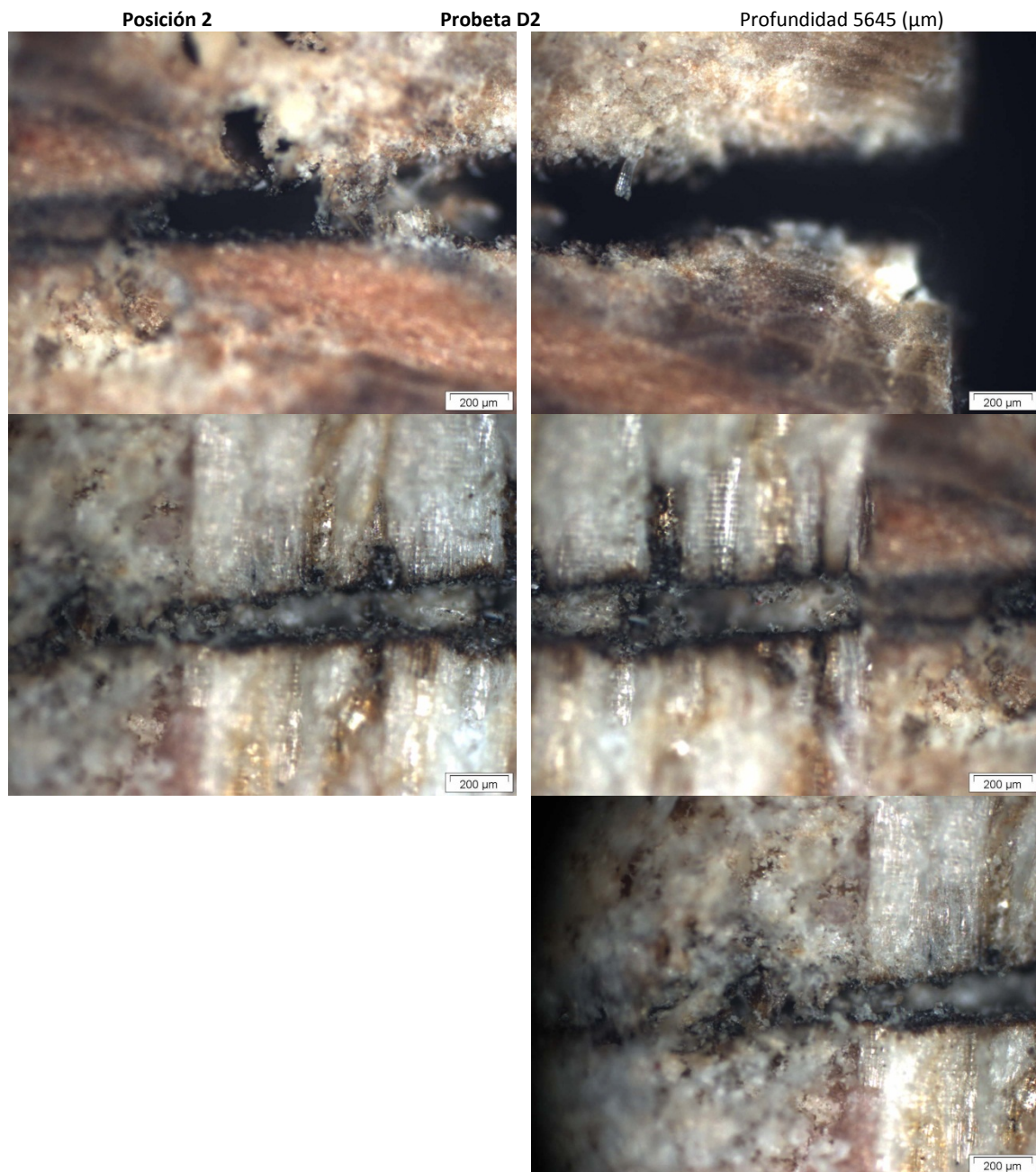


Tabla 41: Recopilación imágenes quinto ensayo Clase D

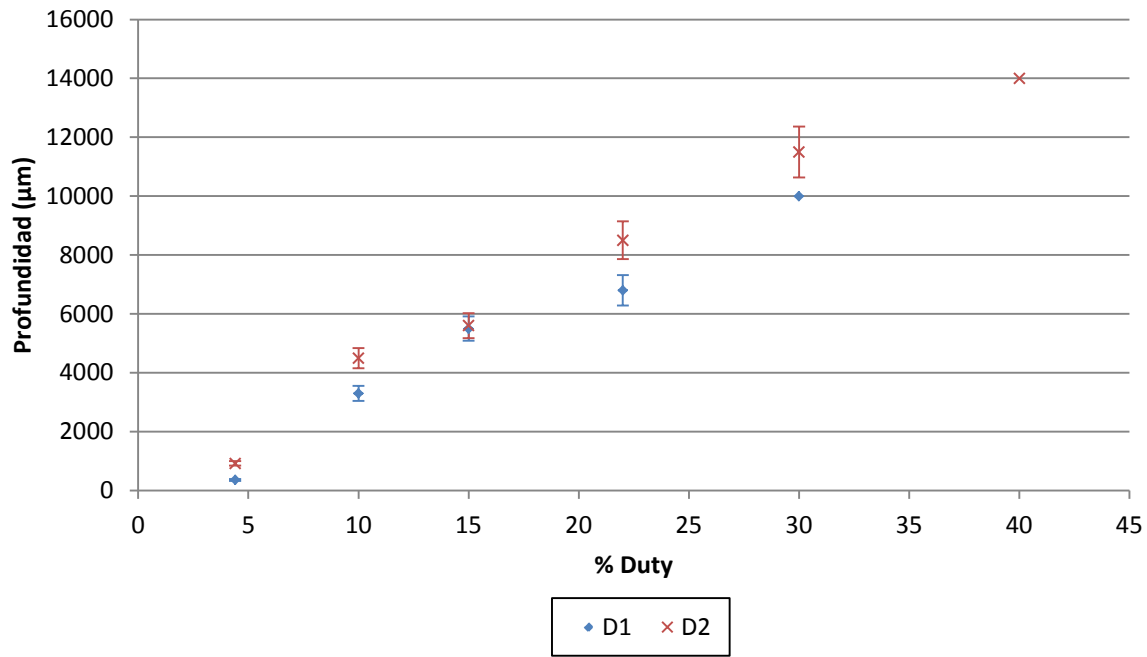


Fig. 14: Medida de la profundidad. Clase D

De nuevo los datos están agrupados, no son muy concluyentes debido a que solo se dispone de dos probetas lo cual resulta algo escaso. Aun así se consideran suficientes para el objetivo de este estudio. Estos datos tendrán mas sentido cuando se agrupen con el resto.

3.5.4 Resultados finales.

En este apartado se muestra la agrupación completa de los resultados en una única grafica.

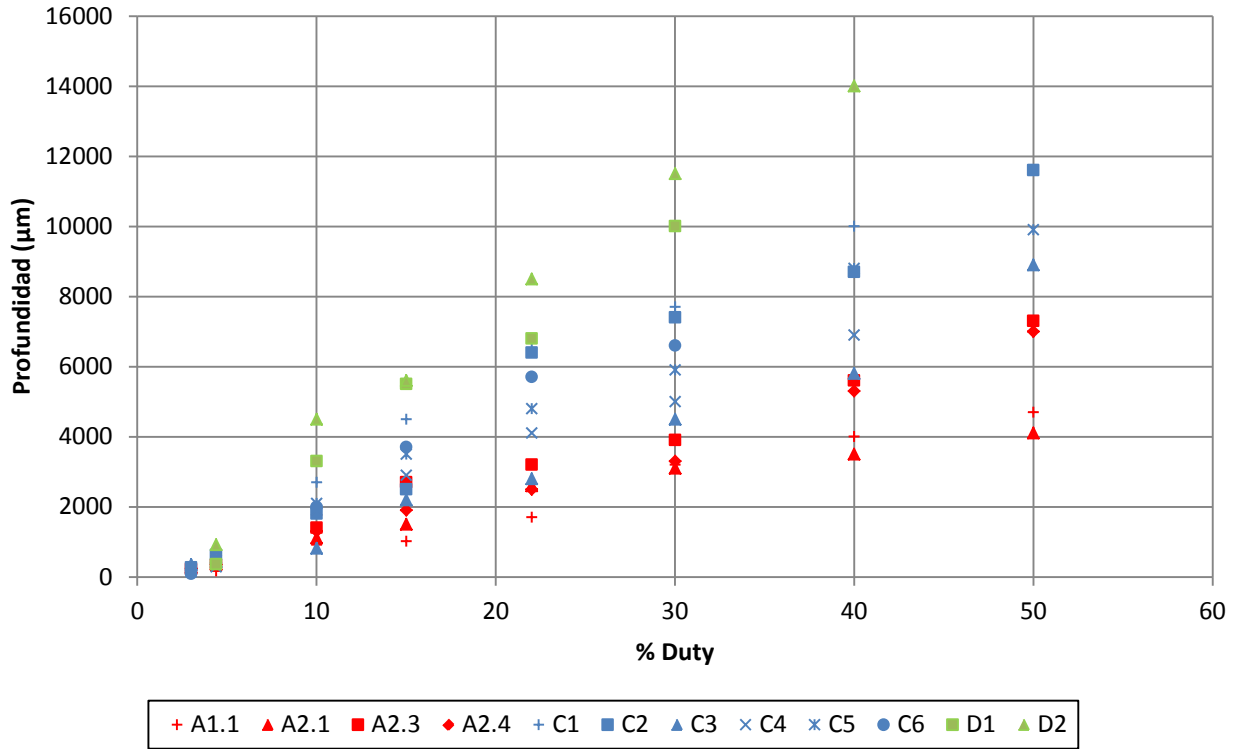


Fig. 15: Medida de la profundidad

En la Fig. 15 quedan reflejados los resultados de todo el estudio. Se puede apreciar una sectorización circular bastante evidente entre las distintitas clases, como ejemplo grafico de esto se expone la Fig. 16. Además esta sectorización es razonable porque las clases de reacción al fuego no son valores discretos si no que cada clase está definida dentro de un rango de valores, esto se puede apreciar en Tabla 7. Esto significa que dentro de la misma clase habrá materiales con mejor comportamiento al fuego que otros. Asimismo dos materiales de distintas clases, C y D por ejemplo, pueden tener un comportamiento casi idéntico.

Por el contrario hay que destacar el hecho de que los resultados de los materiales de clase A y C están muy juntos en un supuesto limite entre ambas Clases. Estos resultados entran en conflicto con una supuesta zona de Clase B. Como se explica más adelante se cree necesaria la ampliación de este estudio para obtener resultados más concluyentes.

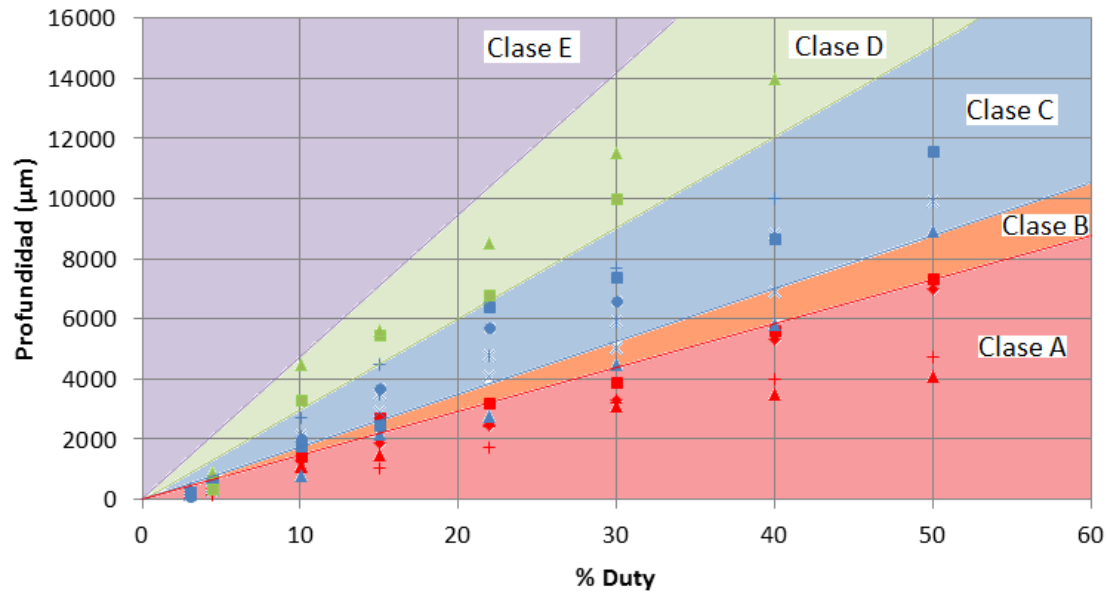


Fig. 16: Sectorización de las distintas clases.

4 CONCLUSIONES

- Este proyecto presenta la elaboración de un método factible para obtener la reacción al fuego de materiales mediante el uso de un láser de CO₂.
- Los resultados obtenidos presentan que las probetas con una mejor clasificación frente al fuego (según la norma UNE-EN 13501-1) muestran profundidades menores, mientras que las probetas con una Euroclase peor alcanza una penetración mayor.
- Para ciclos de carga bajos los resultados son menos evidentes, esto es debido a que la precisión de las medidas no es suficiente.
- Los resultados para los materiales de las clases A y C están más juntos de lo que cabría esperar. Esto entra en conflicto con la zona de Clase B.
- La distancia transversal no es una manera plausible de poder diferenciar la clase de un posible material a estudio, al quedar demostrado en su estudio que el tipo de material no tiene influencia en el ancho dejado por la marca.
- Se encuentra en el primer ensayo un límite inferior en torno a un %Duty cercano a 2%, para el cual no se aprecia marca en los materiales
- En el tercer ensayo se comprueba que el área de afectación del láser es realmente pequeña y queda restringida a la propia marca.

5 LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

A la vista de los resultados y las conclusiones queda claro que este proyecto es un primer paso de un largo desarrollo. El trabajo que se puede realizar es bastante amplio. A continuación se detallan los puntos que se consideran esenciales para la continuación del trabajo.

- Ampliación del catalogo de materiales a estudio, añadiendo más de cada clase, y de las demás clases. Se recomienda empezar con 5 materiales por clase (A1 hasta E), para tener un total de 30 muestras. Se ha de destacar que esta se considera la principal línea de trabajo, recomendando encarecidamente empezar por ella si se desea continuar el estudio.
- Ampliación del rango de parámetros, en este trabajo se probaron muchas combinaciones de parámetros y se ha usado de todas ellas la que se considera mas adecuada, aun así no se pudieron probar todas las posibles y puede que exista una mejor a la seleccionada.
- Utilización de otros equipos, principalmente realizar ensayos con otro tipo de láser como por ejemplo el láser de Nd-YAG es de los más utilizados junto con el de CO2. También se puede pensar en otros métodos para medir la profundidad. Esta línea de trabajo no es aconsejable hasta que no se realicen primero las dos anteriores.

Si se realizasen todos estos ensayos y se obtuviesen resultados positivos, se estaría en disposición de intentar normalizar un método de ensayo de reacción frente al fuego de materiales mediante el uso de láser.

6 REFERENCIAS

- [1] *UNE-EN 13501-1, "Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de reacción al fuego".*
- [2] Universidad Carlos III de Madrid, Instituto Pedro Juan de Lastanosa, *Master en Ingeniería de Seguridad frente al fuego*, Leganes, 2012.
- [3] *UNE-EN 13501-2, "Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación".*
- [4] *EN 13823, "Reaction to fire tests for building products-Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item"*, Bruselas, Bélgica, 2010.
- [5] *UNE-EN ISO 9239-1, "Ensayos de reacción al fuego de los revestimientos de suelos. Parte 1:Determinación del comportamiento al fuego mediante una fuente de calor radiante"*, 2010.
- [6] *UNE-EN ISO 1182 "Ensayos de reacción al fuego de productos. Ensayo de no combustibilidad"*, 2010.
- [7] *UNE-EN 13823 "Ensayos de reacción al fuego de productos de construcción"*, 2010.
- [8] Internal work package report of the SBI project, Not published, «Mid term report of WP3a: Use of the SBI Room/Corner Test parameters,» Bruselas, Bélgica, 1998.
- [9] Official Laboratories Group, European Commission, Directorate General III Industry, Industrial affairs II: Capital goods industry, Construction, RG N138, Not published, «Summary of principles leading to the SBI classification system,» Bruselas, Bélgica, 1998.
- [10] Sundström, B., «European classification of building products,» de *Proceedings of the 8th International Fire Science & Engineering (Interflam '99)*, Edinburgo, Escocia, 1999.
- [11] Sundström, B., «The relationship of the SBI test to the reference scenario,» de *Fire Safe Products in Construction: A Benefit of the Construction Products Directive, European Commission, EGOLF (European Group Organisations for Fire Testing, Inspection and Certification) and EAFP (the European Association for Passive Fire Protection)*, Luxemburgo, 1999.
- [12] Sundström, B., "European Union", chapter 10.4, pp 266-277; "Nordic countries", chapter 10.13, pp 345-360 and "International Organization for Standardization (ISO)", chapter 10.23 pp 418-432, *Plastics Flammability Handbook-Principles.*, Munich, Alemania, 2004.

- [13] Sundström, B. y Axelsson J., «Development of a common European system for fire testing of pipe insulation based on EN 13823 (SBI) and ISO 9705 (Room/Corner Test),» Boras, Suecia, 2002.
- [14] Axelsson, J., Sundström, B. y Rohr, U., «Development of a common European system for fire testing and classification of pipe insulation,» de *Proceedings of the 9th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam 2001)*, Edimburgo, Escocia, 2001.
- [15] SMT Programme, FIPEC Final Report to the European Commission, Londres, 2000.
- [16] Sundström, B., Axelsson, J. y Van Hees, P., «A proposal for fire testing and classification of cables for use in Europe,» Bruselas, Bélgica, 2003.
- [17] Sundström, B., «Full-Scale Fire Testing of Surface Materials. Measurements of Heat Release and Productions of Smoke and Gas Species,» Boras, Suecia, 1986.
- [18] *EUREFIC Seminar proceedings, Interscience Communications Ltd*, Londres: ISBN 0 9516320 19.
- [19] B. Sundström y P. Van Hees, «Results and Analysis from Fire Tests of Building Products in ISO 9705, the Room/Corner Test,» The SBI Research Programme ISBN 91-7848-716-1, 1998.
- [20] COMMISSION DECISION of 8 February 2000 implementing Council Directive 89/106/EEC as regards the classification of the reaction to fire, performance of construction products. (2000/147/EC).
- [21] *EN 13501-1, "Fire classification of construction products and building elements-Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests"*, Bruselas: CEN, 2002.
- [22] UNE 23727, *Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción*, Madrid: AENOR, 1990.
- [23] R. H. Dicke, «Coherence in spontaneous radiation processes.,» *Physics Review*, vol. 93, p. 99, 1954.
- [24] A. Einstein, «Zur Quantentheorie der Strahlung,» *Physikalische Zeitschrift*, vol. 18, pp. 121-128, 1917.
- [25] A. Schawlow y C. Townes, «Infrared and Optical Masers,» *Physical Review*, vol. 112, pp. 1940-1949, 1958.
- [26] R. Steiner, «Basic Laser Physics,» de *Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine*, Springer, 2011, pp. 3-22.
- [27] J. Hecht, «Laser pioneers Revised Edition,» Londres, Academic Press Limited, 1992, pp. 81-

154.

- [28] T. H. Maiman, «Stimulated optical radiation in ruby,» *Nature*, vol. 187, pp. 493-4, 1960.
- [29] C. Townes, «Theodore H. Maiman (1927-2007). Maker of the first laser,» *Nature*, vol. 447, p. 654, 2007.
- [30] J. M. Orza Segade, *Laseres*, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1986, pp. 3-4.
- [31] C. K. N. Patel, «Continuous-Wave Laser Action on Vibrational-Rotational Transitions of CO₂,» *Physical Review*, vol. 136, nº 5A, pp. A1187-A1192, 1964.
- [32] M. Dorronsoro Mendiguren, *La Tecnología Láser: Fundamentos, Aplicaciones y Tendencias.*, Aravaca (Madrid): McGraw-Hill / Interamericana de España S.A., 1996, p. xi 1 51.
- [33] J. D. Madjumdar y I. Manna, *Laser processing materials*, Sadhana (Academy Proceedings in Engineering Sciences), 2003.
- [34] J. F. Ready y D. F. Farson, *Handbook of Laser Materials Processing*, Orlando, EE.UU.: Laser Institute of America. LIA, 2001.
- [35] J. W. Restrepo Montoya, *Tesis Doctoral "Marcado y esmaltado de materiales cerámicos con laser"*, Barcelona, 2005.
- [36] C. C. Gálvez, *Marcados superficial de placas vitrocerámicas con elementos luminiscentes*, Zaragoza.
- [37] W. D. Callister, *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*, Volumen 2, Barcelona: Reverté, 2007, pp. 529-544.
- [38] *The SBI Project*, Holanda: Project leader TNO Fire laboratory. Reported to the European Commission., 1998.
- [39] Williamson, R. B. y Fischer, F., «Fire growth experiments - toward a standard room fire test,» Department of Civil Engineering and Lawrence Berkley Laboratory, University of California, Berkley, EE.UU., 1979.
- [40] «Proposed Standard Method for Room Fire Test of Wall and Ceiling Materials and assemblies,» de *Annual book of ASTM standards*, Philadelphia, EE.UU., 1982.
- [41] 2000 HSC Code, International Code of Safety for High-Speed Craft, 2000, resolution MSC.97(73) adopted on 5 December 2000, IMO, International Maritime Organisation, Londres, Inglaterra, 2001.

- [42] IMO, International Maritime Organisation, *FTP Code, International Code for Application of Fire Test Procedures, Including fire test procedures referred to and relevant to the FTP Code, Resolution MSC.61(67)*, Londres, Inglaterra, 1998.

ANEXO I: FICHAS TÉCNICAS

En este Anexo se muestran las fichas técnicas de los materiales utilizados por si fuese necesaria la consulta más detallada de alguno de ellos. Disculpas por la calidad de las imágenes.

TECBOR® A Placas Ignífugas							
<ul style="list-style-type: none"> No combustible según la norma UNE-EN 13501-1 A1 Densidad 730 Kg/m³ Para uso en soluciones constructivas que requieran una protección de hasta 180 minutos. Resistente a la humedad y con una gran estabilidad dimensional. Fácil para trabajar, fijar y con posibilidad de diferentes acabados. 	<p>Soluciones TECBOR® A</p> <ul style="list-style-type: none"> Compartimentación Falsos techos Muros cortina Conductos de ventilación Protección de estructuras de acero Túneles <p>Medidas placas</p> <table> <tr> <td>Espesor (mm)</td> <td>10, 12, 15</td> </tr> <tr> <td>Largo (mm)</td> <td>2300</td> </tr> <tr> <td>Ancho (mm)</td> <td>1220</td> </tr> </table>	Espesor (mm)	10, 12, 15	Largo (mm)	2300	Ancho (mm)	1220
Espesor (mm)	10, 12, 15						
Largo (mm)	2300						
Ancho (mm)	1220						
<p>TECRESA PROTECCIÓN PASIVA® www.tecresa.es</p>							
<p>Tecresa Protección Pasiva® Parque Leganés Tecnológico. Legatec C/ Margarita Salas, 30. 28918 Leganés, Madrid, Spain. Tel. (+34) 91 428 22 60 - 902 11 87 14. Fax. 91 428 22 62. E-mail: tecresapp@tecresa.es</p>	<p>CE 1220</p>						

FACHADAS CONSTRUCCIÓN TEJADOS CUBIERTAS	
<p>BLUCLAD MD</p>	
<p>PANEL SEMICOMPRESO</p>	
<p>Blucad es un panel de cemento reforzado con fibras naturales, semicomprimido, calibrado, de superficie punzonada e hidrofugada, de color beige.</p> <p>Aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Revestimientos exteriores: como soporte de revocos decorativos (consultar tipo de mortero apropiado). Techo: Placa soporte de revoque decorativo, (consultar tipo de mortero apropiado). 	
<p>Dimensiones: 2500 x 1250 mm 2850 x 1250 mm</p> <p>Espesores: 10 mm</p>	
<p>CE CTE A2 CLASE no arde</p>	
<p>www.euronit.es</p> <p>Euronit fachadas y cubiertas</p> <p>an Etex GROUP company</p>	

Ilustración 1: Ficha técnica material A1.1 (izq.) y A2.1 (der.)



Polígono Industrial Nº 2
(La Fuensanta) - Calle Urano 15
28936 Madrid (España)
Tel: 91 646 34 44 - Fax: 91 646 34 94
info@convesa.es - www.convesa.es

FICHA TÉCNICA Chimenea modular. Gama ALUMIGAS

Conducto de unión rígido de pared simple de aluminio

Designaciones: EN 1856-2: T200 P1 D Vm L11080 O(100,100) Nº de certificado CE: 0099/CPD/A71/0063

Aplicación: Evacuación de humos de combustión de calderas de gas.
Conducto de unión entre caldera y chimenea colectiva.
Conducciones de ventilación.
Extracción de campañas.

Características:

Temperatura máxima de utilización	200 °C
Nivel de presión de los humos	Presión negativa (depresión) Presión positiva hasta 200 Pa
Resistencia a los condensados	Funcionamiento en seco (no apto en calderas de condensación)
Combustibles	Gas
Resistencia al fuego de hollín	No
Diámetros nominales	Dn 60, 80, 100, 110, 125, 130 mm
Diámetro interior	58, 78, 99, 109, 124, 129 mm
Material de la pared	Aluminio EN AW-1200
Espesor de la pared	0,8 mm
Aislamiento	Ninguno
Junta	Silicona
Resistencia a la compresión	Prestación no determinada
Resistencia a la tracción	Prestación no determinada
Resistencia a la compresión de los soportes	Prestación no determinada
Resistencia al viento	Altura libre máxima sobre el último soporte de 1 m
Instalación no vertical	Distancia máxima entre soportes de 1,5 m
Resistencia al hielo-deshielo	Resistente a los ciclos de hielo y deshielo
Resistencia al flujo: tramos rectos	Rugosidad media: 1 mm (según EN 13384-1)
Resistencia al flujo: elementos	Según EN 13384-1
Resistencia térmica	0 m ² K/W
Resistencia al fuego	Prestación no determinada
Reacción al fuego	Prestación no determinada
Montaje de los soportes	Soporte cada 1,5 m
Otras	El acoplamiento entre elementos se realiza mediante un sistema de machihembrado con junta de silicona. Los tramos rectos son recortables.

Ilustración 2: Ficha técnica material A1.2



STANDAR (BA)

Placa de Yeso Laminado con cartón a doble cara y alma de yeso de origen natural, fabricada mediante proceso de laminación en continuo.

Tipo	Espesor mm	Peso Kg/m²	Longitudes mm
BA 6	6	6,0	3000
BA 10	9,5	7,5	2500 - 2600 - 3000
BA 13	12,5	9,5	2000 - 2400 - 2500 - 2600 2700 - 2800 - 3000
BA 15	15	12,0	2500 - 2600 - 2700 2800 - 3000
BA 18	18	15,0	2500 - 2600 - 2700 2800 - 3000

*Consultar informes disponibles de ensayos de resistencia al fuego.

DATOS TÉCNICOS

Tipo de borde long.	Borde afinado (BA)
Tipo de borde trans.	Borde cuadrado (BC)
Coef. Conduc. Térmica	0,25 W/m.k
Resis. al vapor de agua	$\mu=10$ (Según EN 12524)
Reacción al fuego	A2-S1-d0
Anchura	600 mm / 1200 mm
Designación	Tipo A (Según EN 520)



AENOR
A - EN 520
Producto Certificado



Fácil y rápida instalación

Para más información, puede descargarse la ficha técnica en www.placo.es

Saint-Gobain Placo Ibérica

Oficinas Centrales:

Paseo de la Castellana 77

28046 Madrid

siempre actualizado en

www.placo.es

Para todas sus consultas:

902 253 550 / 902 296 226

Ilustración 3: Ficha técnica material A2.2 (izq.) y A2.3 (der.)



PLACOFLAM (PPF)


Placa (tipo F, D) que presenta una mayor resistencia al fuego al incorporar fibra de vidrio en el alma de yeso, actuando la fibra de vidrio como una "malla" que arma y cohesiona el yeso más allá de su calcinación.

Tipo	Espesor mm	Peso Kg/m²	Longitudes mm
PPF 13	12,5	10,5	2500 - 2600 - 3000
PPF 15	15	12,5	2500 - 2600 - 3000

*Consultar informes disponibles de ensayos de resistencia al fuego.

DATOS TÉCNICOS

Tipo de borde long.	Borde afinado (BA)
Tipo de borde trans.	Borde cuadrado (BC)
Coef. Conduc. Térmica	0,25 W/m.k
Resis. al vapor de agua	$\mu=10$ (Según EN 12524)
Reacción al fuego	A ₁ -S ₁ -d ₀
Anchura	1200 mm
Designación	Tipo F, D (Según EN 520)




AENOR

F.D - EN 520

Producto Certificado



Los sistemas formados con este tipo de placas obtienen una calificación de resistencia al fuego El superior a los formados con otro tipo de placa.



Integral Sistema
GARANTIA
Placo
uso

Para más información, puede descargarse la ficha técnica en www.placo.es

Saint-Gobain Placo Ibérica
Oficinas Centrales:
Paseo de la Castellana 77
28046 Madrid

siempre actualizado en
www.placo.es

Para todas sus consultas:
902 253 550 • 902 296 226

Ilustración 4: Ficha técnica material A2.4



Declaración de conformidad

1. Nombre y dirección del fabricante:

Poliuretanos, S.A.
Z.I. El Trust, Ctra. C-65, km 16
17244 Cassà de la Selva - Girona
Tel. +34 972 46 04 72
Fax. +34 972 46 17 19
e-mail: cassa1@poliuretanos.com

2. Nombre y dirección del organismo de certificación:

Bureau Veritas Certification S.A.U.
Edificio Caoba. C/ Valportillo Primera 22-24
Polígono Industrial La Granja - 28108 - Alcobendas (MADRID)
Organismo Notificado 1035

3. Descripción del producto: Panel de espuma de poliuretano rígida

Aplicación del producto:

Aislante térmico para la edificación

3.1. Identificación:

Denominación comercial:

Uso:

Designación:

PIR ALU-T (espuma de poliisocianurato rígida con recubrimiento de aluminio gofrado en ambos lados).

Aisladeck AL / Aisladeck AL-blanco

Aislante térmico

PUR EN 13165 T2 DS(TH)10 CS(10\Y)120 WL(T)2

$\lambda_D = 0,023 \text{ W / m}\cdot\text{K (e} \leq 80\text{mm)}$

$\lambda_D = 0,027 \text{ W / m}\cdot\text{K (e} \geq 80\text{mm)}$

Euroclase B-s2,d0 (aplicación final cubierta deck).

Euroclase F (Otras aplicaciones. No ensayado).

Número de certificado: **1035-CPD-ES024205**.

3.2. Identificación:

Denominación comercial:

Uso:

Designación:

PIR BV (espuma de poliisocianurato rígida (PIR) con recubrimiento de velo vidrio en contacto con la plancha metálica tipo deck y velo vidrio bituminado en el exterior).

Aisladeck BV

Aislante térmico para cubiertas deck-type

PUR EN 13165 T2 DS(TH)10 CS(10\Y)120 WL(T)2

$\lambda_D = 0,028 \text{ W / m}\cdot\text{K (e} < 80\text{mm)}$

$\lambda_D = 0,027 \text{ W / m}\cdot\text{K (e} \geq 80\text{mm)}$

Euroclase B-s2,d0 (aplicación final cubierta deck).


Euroclase F (Otras aplicaciones. No ensayado).

Número de certificado: **1035-CPD-ES024205**.

4. Disposiciones de conformidad del producto:

Este producto es conforme a las disposiciones relativas a la evaluación de la conformidad descritas en el Anexo ZA de la norma UNE-EN 13165:2009 "Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de espuma rígida de poliuretano (PUR). Especificación".

Y para que así conste se firma esta declaración de conformidad con el marcado CE en Cassà de la Selva, a 21 de junio del 2010.


F. Bollo
Director General
Cassà de la Selva, 10.09.2010

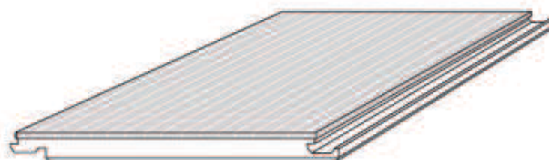
SP_2011-02-16



Tarima flotante TOPBAMBOO

Producto

La tarima flotante TOPBAMBOO está compuesta de 2,5mm de capa de uso de bambú macizo pegado sobre una base de HDF encolada sobre una capa de madera baja densidad (tipo álamo o conífero). Gracias a esta construcción, este material tiene una muy buena estabilidad dimensional. El sistema UNICLIC, acabado con parafina, permite una fácil, limpia y rápida instalación.



Gama

Código Natural	Código Tostado	Estilo	Canto	Aca-bado	Dim.(mm)	Cont. caja (uds)	Cont. caja (m2)
	BF-SW1151-L01	VE	MB	L01	960x128x10	12	1,475
	BF-SW1151B-L02	VE	MB	BL02	960x128x10	12	1,475
	BF-SW1151B-L06	VE	MB	BL06	960x128x10	12	1,475
BF-SW1210-L01	BF-SW1260-L01	DT	MB	L01	920x125x10	12	1,380
	BF-SW1260B-L01	DT	MB	BL01*	920x125x10	12	1,380
VE = Vertical							
DT = Density							
MB = Micro bisel							
L01 = Barnizado Treffert 80gr/m2							
BL01= Cepillado barnizado Treffert 80gr/m2							
BL02= Cepillado barnizado Treffert WHITE 80gr/m2							
BL06= Cepillado barnizado Treffert COLONIAL 80gr/m2							

*) Debido a las características del Bamboo Density, la profundidad del cepillado será diferente de una tabla a otra. Esto crea un efecto muy natural.

Colocación

Informaciones completas al dorso.

Apto para instalación sobre suelos radiantes; consultar "MOSO Tarimas y suelos con calefacción radiante".

Características técnicas

- Dureza: 3-4 kg / mm² (Brinell); versión Density: 9,5 kg/mm²
- Dilatación (bambú): 0,14% por un 1% de cambio de humedad ambiental
- Contenido en humedad (bambú): 10% a 20 °C y 65% de humedad ambiental
8% a 20 °C y 50% de humedad ambiental.
- Densidad (bambú): 700 kg/ m³; versión Density: 1050 kg/m³
- Densidad (HDF): 890 kg/ m³
- Índice hinchamiento: <14%
- Resistencia al fuego: UNE 11925-2: Cfl-s1
- Emisión de formaldehidos: <0,124 mg/m³ (Norme E1)
- Resbalad: EN 1339:2003: USRV 31
(superficie cepillado: USRV 38)



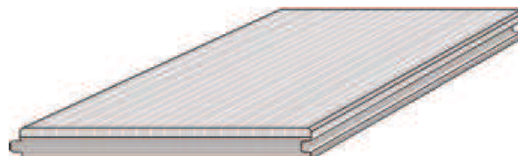
Ilustración 6: Ficha técnica material C1

SP_2011-02-16

Moso® Tarima Bicapa lama ancha

Producto

La tarima maciza MOSO tiene una unión machihembrada y se compone de 2 capas: un espesa capa superior de bambú y una capa inferior de multicapa de conífero. Gracias a esta construcción, la tarima es extremadamente estable y la espesa capa superior muy duradera. La tarima bicapa es disponible en la versión sin acabado vertical. El micro bisel en la parte longitudinal crea un típico motivo "a tablas" en el suelo.



Tarima Bicapa Lama Ancha Vertical

Gama de Producto

Código Natural	Código Tostado	Estilo	Cantos	Acabado	Dimensiones (mm)	Cont. caja (uds)	Cont. caja (m2)
BF-DP803	BF-DP853	HO	B	A	1900x189x19	5	1,795
BF-DP823	BF-DP873	VE	B	A	1900x189x19	5	1,795
BF-DT803	BF-DT853	DT	B	A	1900x189x19	5	1,795
		HO = Horizontal					
		VE = Vertical					
		DT = Density					
		B = Bisel (2 lados)					
		A = Pre-aceitado Woca (debe recibir un tratamiento al aceite WOCA después de la instalación).					

Colocación

Informaciones completas al dorso.

Apto para instalación sobre suelos radiantes; consultar "MOSO Tarimas y suelos con calefacción radiante".

Características Técnicas

- Dureza: 4,0 kg/mm² (Brinell)
- Coeficiente de dilatación: 0,14% por 1% de variación de humedad
- Humedad: 10% a 20 °C y 65% de humedad relativa
8% a 20 °C y 50% de humedad relativa
- Densidad: 700 kg/ m³
- Emisión formaldehidos: <0,124 mg/m³ (norma E1)

Density (Capa superior):

- Dureza: 9,5 kg/mm² (Brinell)
- Coeficiente de dilatación: 0,14% por 1% de variación de humedad
- Humedad: 3-4% (Darr-test) a 20 °C y 50-65% humedad relativa
- Densidad: 1050 kg/ m³



Ilustración 7: Ficha técnica material C2

SP_2011-02-16

Moso® Tarima Maciza lama ancha

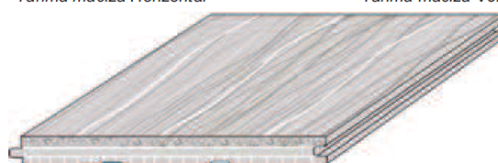
Producto

La tarima maciza MOSO tiene una unión machihembrada y se compone de 3 capas de bambú macizo. En el estilo DENSITY: 2 capas de bambú macizo y una capa superior de bambú DENSITY. La capa del medio está cruzada para optimizar su estabilidad.



Tarima maciza Horizontal

Tarima maciza Vertical



Tarima maciza DENSITY

Gama de producto

Código Natural	Código Tostado	Estilo	Cantos	Acabado	Dimensiones (mm)	Cont. caja (uds)	Cont. caja (m2)
BF-LA300	BF-LA350	HO*	SB	-	1820x154x15	8	2,242
BF-LA320	BF-LA370	VE*	SB	-	1820x154x15	8	2,242
BF-LA301	BF-LA351	HO*	MB	B	1820x154x15	8	2,242
BF-LA321	BF-LA371	VE*	MB	B	1820x154x15	8	2,242
BF-DT301	BF-DT351	DT*	MB	BN	1830x142x13	6	1,559

HO = Horizontal

VE = Vertical

DT = Density

SB = Sin bisel

MB = Micro bisel

B = Barnizado Bona 80 gr/m2

BN = Barnizado Bona Naturale

* = Capa intermedia cruzada

Colocación

Informaciones completas al dorso.

Apto para instalación sobre suelos radiantes; consultar "MOSO Tarimas y suelos con calefacción radiante".

Características Técnicas

General:

- Dureza: 4,0 kg/mm² (Brinell)
- Coeficiente de dilatación: 0,14% por 1% de variación de humedad
- Humedad: 10% a 20 °C y 65% humedad relativa
8% a 20 °C y 50% humedad relativa
- Densidad: 700 kg/ m³
- Resistencia al fuego: EN 13501-1: Cfl-s1
- Conductividad térmica: $\lambda = 0,17 \text{ W / (m}\cdot\text{K)}$
- Resistencia térmica: $R = 0,088 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
- Emisión formaldehidos: <0,124 mg/m³ (norma E1)

Density (Capa superior):

- Dureza: 9,5 kg/mm² (Brinell)
- Coeficiente de dilatación: 0,14% por 1% de variación de humedad
- Humedad: 3-4% (Darr-test) a 20 °C y 50-65% humedad relativa
- Densidad: 1050 kg/ m³



www.moso.eu

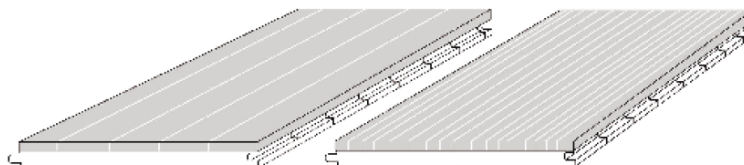
Ilustración 8: Ficha técnica material C3

SP_2011-02-16

Moso® Tarima Bicapa

Producto

La tarima bicapa MOSO tiene una unión machihembrada y es compuesta de una capa superior de 4 mm y un dorso cruzado de bambú.



Tarima Bicapa Horizontal

Tarima Bicapa Vertical

Gama de Producto

Código Natural	Código Tostado	Estilo	Cantos	Acabado	Dimensiones (mm)	Cont. caja (uds)	Cont. caja (m2)
BF-LA401	BF-LA451	HO	SB	-	920x92x10	36	3,047
BF-LA421	BF-LA471	VE	SB	-	920x92x10	36	3,047
BF-LA403	BF-LA453	HO	SB	A	920x92x10	36	3,047
BF-LA423	BF-LA473	VE	SB	A	920x92x10	36	3,047
BF-LA409	BF-LA459	HO	SB	B	920x92x10	36	3,047
BF-LA429	BF-LA479	VE	SB	B	920x92x10	36	3,047
BF-DT409	BF-DT459	DT	SB	BN	920x92x10	24	2,031
BF-LA411	BF-LA461	HO	SB	-	450x75x10*	80	2,7
BF-LA431	BF-LA481	VE	SB	-	450x75x10*	80	2,7
BF-LA413	BF-LA463	HO	SB	A	450x75x10*	80	2,7
BF-LA433	BF-LA483	VE	SB	A	450x75x10*	80	2,7
BF-LA419	BF-LA469	HO	SB	B	450x75x10*	80	2,7
BF-LA439	BF-LA489	VE	SB	B	450x75x10*	80	2,7

HO = Horizontal

VE = Vertical

DT = Density

SB = Sin bisel

B = Barnizado Bona 125 gr/m2

BN = Barnizado Bona Naturale

A = Pre-aceitado Woca (debe recibir un tratamiento al aceite WOCA después de la instalación).

*) La unión machihembrada en los 4 cantos permite crear un motivo a "espiga" o a "cuadros" (50% con unión macho derecha y 50% con unión macho izquierda).

Colocación

Informaciones completas al dorso.

Apto para instalación sobre suelos radiantes; consultar "MOSO Tarimas y suelos con calefacción radiante".

Características Técnicas

- Dureza: 4,0 kg/mm² (Brinell)
- Coeficiente de dilatación: 0,14% por 1% de variación de humedad
- Humedad: 10% a 20 °C y 65% de humedad relativa
- Densidad: 700 kg/ m³
- Resistencia al fuego: EN 13501-1: Cfl-s1
- Conductividad térmica: λ = 0,17 W / (m·K)
- Emisión formaldehidos: <0,124 mg/m³ (norma E1)

Density (Capa superior):

- Dureza: 9,5 kg/mm² (Brinell)
- Coeficiente de dilatación: 0,14% por 1% de variación de humedad
- Humedad: 3-4% (Darr-test) a 20 °C y 50-65% humedad relativa
- Densidad: 1050 kg/ m³



www.moso.eu

Ilustración 9: Ficha técnica material C4



STP
PURE EXCELLENCE















WOOD⁺
MORE THAN WOOD

W⁺ LISTONE

Chevron
WOOD FLOORING

W⁺ DESIGN


INFORMACIONES TÉCNICAS / INFORMAZIONI TECNICHE / TECHNICAL FEATURES

SIMB	CARACTERISTICAS CARATTERISTICHE FEATURES	NORMA NORMA NORM	VALORES NORMA VALORI NORMA NORM VALUE	VALORES STP VALORI STP STP VALUE
	Clase de Uso Classe d'uso Level of use	EN 685	-	Classic Traditional Lux Traffic 
	Resistencia a la Abrasión Resistenza all'abrasion e Abrasion resistance	EN 14354 Anexo D	WR2 IP > 5000 WR3 IP > 7000	Classic/Traditional/Lux WR2IP=5000 Traffic WR3 IP=9000
	Resistencia al Impacto Resistenza all'Impatto Impact resistance	EN 14354 Anexo C	EC2 > 1200 mm	EC2
	Emisión Formaldehído Emissione di formaldeide Formaldehyde emission	EN 717-2:95	E1	E1
	Durabilidad Biológica Durabilità biologica Biological durability	EN 355-1 y 2	-	Clase 1
	Reacción al Fuego Reazione al fuoco Reaction of fire	EN 13501	-	Clase C - S1
	Resistencia al Deslizamiento Resistenza allo scivolamento Skid resistance	EN 13893	-	Clase DS
	Conductividad Térmica Conduktività termica Thermal conductivity	EN 12524	-	0,17 W/mk
	Resistencia a la rotura (carga máxima) Resistenza alla rottura(carico massimo) Breaking strength (Maximum load)	-	-	PND
	Certificado CE Certificato CE CE certificate	EN 1432:2006	SI	SI
	Densidad Densità Density	-	-	706 (26) Kg/m ³
	Estabilidad Dimensional Stabilità dimensionale Dimensional stability	EN 1910	-	Paralelo - Paralelo - Paral. 0,13 mm Perpend - Perpendicolare - Perp. 0,66 mm
	Contenido en Humedad Contenuto umidità Moisture content	-	-	9,90 (0,74) %

PRODUCTO	Pavimento y revestimiento tricapa
SOPORTE	Tablero contrachapado fenólico 100% abedul encolado WBP
ESPESOR	17 mm
INSTALACIÓN	Flotante sin cola
TECNOLOGÍA	Lock STP

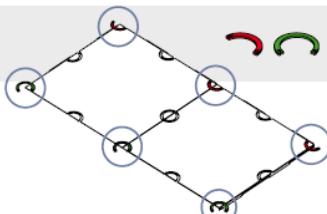
PRODOTTO	Pavimento e rivestimento a tre strati
SUPPORTO	100% fenolico marino incollato WBP
SPESORE	17 mm
INSTALLAZIONE	Flottante senza colla
TECNOLOGIA	Lock STP

PRODUCT	Three layers pavement and coating
SUPPORT	Phenolic plywood board 100% birch with WBP bonding
THICKNESS	17 mm
INSTALLATION	Floating, without glue
TECHNOLOGY	Lock STP



LOCKSTP
EXCELLENT GLUELESS SYSTEM

Glueless System
Pallet-protected worldwide



LockSTP es un innovador sistema de colocación en seco. Gracias a sus anclajes metálicos y a la precisión de su mecanizado se garantiza una unión perfecta sin necesidad de cola.

LockSTP è l'innovativo sistema di posa flottante che con i suoi particolari giunti metallici e precisi incastri assicura una perfetta resistenza e tenuta senza l'impiego di colla.

LockSTP is an innovative glueless flooring system. Precision interlocking metal joints provide perfect grip and endurance, all without use of adhesives.

Ilustración 10: Ficha técnica material C5

PARADOR

Click'in 8-32


Product quality		Tolerances (EN 13329)		
Formats	1285 x 192 x 8 mm	Gross density of the substrate ($\geq 825 \text{ Kg/m}^3$)	$\geq 870 \text{ Kg/m}^3$	
Packaging	Pack: 10 Elements / 2.467 m ² / 18.75 Kg	Squareness of elements ($\leq 0.20\text{mm}$)	$\leq 0.10\text{mm}$	
	Pallet: 40 Packs / 98.70 m ² / 750 Kg	Determining the straightness of the edges ($\leq 0.30 \text{ mm/m}$)	$\leq 0.10 \text{ mm/m}$	
Notes	- not ready for glue-down - cleaning an maintenance see intruction - technical changes reserved	Height differences of the elements	(average $\leq 0.10 \text{ mm}$)	average $\leq 0.05 \text{ mm}$
			(max. $\leq 0.15 \text{ mm}$)	max. $\leq 0.10 \text{ mm}$
		Opening between installet elements	(average $\leq 0.15 \text{ mm}$)	average $\leq 0.05 \text{ mm}$
			(max. $\leq 0.20 \text{ mm}$)	max. $\leq 0.10 \text{ mm}$
		Block alignment		$\pm 2 \text{ mm}$
<div><div><div><div><div><div></div></div></div><div><div><div></div></div></div></div><div><div><div></div></div></div><div><div><div></div></div></div></div><div><div><div></div></div></div><div><div><div></div></div></div></div> <div><div><div></div></div></div> <div>EN 14041 : 08 09</div> <div><div><div></div></div><div>EUROPEAN SUAUT</div></div> <div>EN 14041 : 08 09</div>				



Classification			
	Utility class	Test standard	Rating
	Utility class 23 domestic areas with intensive use	EN 13329	Living room, hall, kitchen, home office
	Utility class 32 commercial areas with medium use	EN 13329	Classrooms, small offices, shops
	Abrasion	EN 13329, Annex E	AC 4 ($\geq 4.000 \text{ Umd.}$)
	Impact resistance	EN 13329, Annex F	IC 2
	Reaction to fire	EN 13501-1	C _f s1
	Slip resistance	EN 13893 EN 14041	$\mu \geq 0.35$ DS
	Staining resistance	EN 438-2	Category 1 + 2: level 5 Category 3: level 4/5
	Cigarette resistance	EN 438-2	level 4
	Light fastness	EN ISO 105 - B02 EN 20105 - A02	Blue wool scale: Stage ≥ 6 Grey scale: Stage ≥ 4
	Resistance to roller castor chairs	EN 425	No visible changes
	Electrical behaviour	EN 1815	-
	Thermal conductivity Underfloor heating - suitable, with the backing material and vapor barrier	EN 12664	0.048 m ² *K/W
	Effect of a furniture leg	EN 424	No visible changes
	Indentation-residual	EN 433	No visible changes
	Formaldehyde (E1 = 0.1 ppm)	EN 717-1	$\leq 0.05 \text{ ppm}$
	Locking strength of mechanically assembled panels	ISO 24334	-
	Accoustical impact noise reduction	ISO 717-2	18 db (with Duo-Protect)
	Dimensional stability	ISO 24339	-
	Thickness swelling	EN 13329, Annex G ($\leq 18 \%$)	$\leq 10 \%$
	Surface soundness	EN 433	$\geq 1.8 \text{ N/mm}^2$
	Scratch resistance	EN 438	Level 4
	Slip resistance on an inclined plane	DIN 51130	R 9
	Disposal		Privat waste disposal with normal haushold waste, bulky waste possible

Changed:	QMB Parador	File:	PA TDS Laminat Click'in 8-32 EN 2011
Date:	2010.12.10	Updates at:	www.parador.de
Our technical data sheets are constantly updated and adapted to the latest technology. This version replaces all earlier versions and is valid from:			2011.01.01


Ilustración 11: Ficha técnica material C6



Fiche técnica

Ambiance® Woodloc

ancho 125 mm
grosor 10 mm



D1

Clasificación

Fabricación según la norma
NF EN 13489 de julio de 2003

► **Clasificación de uso según norma XP B53-69 de enero de 2003**
Esta clasificación tiene en cuenta el grosor de la capa de uso (lo que permite establecer el grado de renovabilidad), así como la duración de la especie de madera (de la que depende la resistencia al uso).


Capa de uso en mm	2,5	3,2	4,5	7
Clase A	21	21	22	22
Clase B	21	22	23	31
Clase C	23	31	33	34
Clase D	31	33	34	41

Clase A : epicea, pino silvestre, abeto y aliso.
Clase B : abedul, bossé, teca, castaño, alerce, cerezo, nogal, pino marítimo y sipo.
Clase C : afrormosia, roble, doussié, arce, eucalipto, fresno, guatambú, haya, iroko, makoré, moabi, movingui, olmo, carpe y robinia (acacia).
Clase D : angélica, cabreuva, cumaru, ipé, jatoba, merbau, sucupira y wengue.


► **Para locales clasificados U.P.E.C U2-P2-E1-C0 según la "clasificación UPEC de los locales" – Cuaderno del CSTB N° 3509 de noviembre de 2004.**

► **Clasificación al fuego :**
– Según Euroclass Norma NF EN 14342 de agosto de 2005 : Dfl-s1
– Según DTU Reglas Madera fuego 88, anexo 4 : M4


► **Los compromisos Marty :**




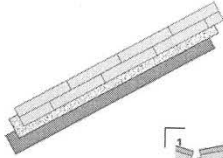
www.pefc.org



Texto de garantía 30 años disponible solicitándolo al servicio comercial.







Dibujo : 2 lamas

Capa de uso : 2,5 mm

Soporte : HDF (alta densidad 870 kg/m³)

Capa de contrabalanceo : en madera exótica

Dimensiones

Grosor : 10 mm (tolerancia ± 0,2 mm)
Ancho : 125 mm (tolerancia ± 0,2 mm)
Longitud : 1320 mm (tolerancia ± 0,2 mm)
M² por paquete : 0,99
M² por palet : 95,04
Paquetes por palet : 96
Kg por m² : 8,3
Kg por palet : 789
Dimensiones palet en mm (Long. x Anch. x Alt.) : 1345 x 850 x 1140

Acondicionamiento

Embalaje bajo film de plástico 100% reciclable con instrucciones de colocación cada 5 paquetes. El extremo de las lamas está protegido por cantoneras de cartón. Pueden desecharse en los contenedores de reciclado de papel.

Acabados

La película seca resultante de las reacciones químicas poliuretano y UV no contiene ningún reactivo libre ni ninguna sustancia volátil (como el formaldehído).

► **Cepillado**
Esta técnica consiste en eliminar la parte blanda de la madera y, de este modo, mejorar su dureza.

► **Tonos**
Aplicación con rodillo.

► **Barniz**
6 capas de barniz acrílico secadas con UV.

► **Barniz mate**
6 capas de barniz acrílico secadas con UV.

Tipo de colocación

► **Colocación flotante** según DTU 51.11 diciembre 1997.
"Colocación flotante de parquet y revestimientos de suelo encolados con pavimento de madera."

► **Colocación pegada** según DTU 51.2 agosto 1995.
"Parquets encolados".

► **Colocación sobre suelo radiante a baja temperatura** según :
- DTU 65.7 de mayo de 1993: Ejecución de suelos radiantes por cables eléctricos.
- DTU 65.14 de julio de 2006: Ejecución de suelos radiantes de agua caliente.
Colocación flotante o pegada.
Resistencia térmica máxima autorizada: 0,150 m².K/W (metro cuadrado grado Kelvin por vatio).
¡ No aconsejamos la colocación de la madera jatoba sobre suelo radiante !

Mantenimiento

► **Barniz**
Aspirador / Fregona
+ Marty Cleaner + Marty Polish + Marty Décapant

► **Barniz mate**
Aspirador / Fregona
+ Marty Cleaner + Renovador Barniz mate
+ Marty Décapant


Marcado CE

Grupo CE	A4
Masa volúmica (kg/m³)	> 500
Grosor (mm)	10
Emisión formaldehído	E1
Reacción al fuego	Dfl-s1
Resistencia térmica (m².K/W)	0,054
Resistencia a la flexión	NPD
Deslizamiento	NPD
Conductividad térmica (W/m.K)	0,19
Durabilidad biológica	Clase 1

Conforme a la norma NF EN 14 342 de agosto 2005.


Parquets Marty - 47500 Cuzorn (France)

Tél. : +33 5 53 36 26 26 - Fax : +33 5 53 36 26 50 • info@parquets-marty.fr - www.parquets-marty.com



parquets encolados
WOODLOC

Ilustración 12: Ficha técnica material D1



Ficha técnica

Extend Plank-Floor®

ancho 125 mm
grósr 14 mm

D2

Clasificación

Fabricación según la norma
NF EN 13489 de julio de 2003

► **Clasificación de uso según norma XP B53-69 de enero de 2003**
Esta clasificación tiene en cuenta el grosor de la capa de uso (lo que permite establecer el grado de renovabilidad), así como la duración de la especie de madera (de la que depende la resistencia al uso).


Capa de uso en mm				
Especie	2,5	3,2	4,5	7
Clase A	21	21	22	22
Clase B	21	22	23	31
Clase C	23	31	33	34
Clase D	31	33	34	41

Clase A : epicea, pino silvestre, abeto y aliso.
Clase B : abedul, bossé, teca, castaño, alerce, cerezo, nogal, pino marítimo y sipo.
Clase C : afrormosa, roble, doussié, arce, eucalipto, fresno, guatambú, haya, iroko, makoré, moabi, movingui, olmo, carpe y robinia (acacia).
Clase D : angélica, cabreuva, cumaru, ipé, jatoba, merbau, sucupira y wengue.

► **Para locales clasificados U.P.E.C U2-P2-E1-C0 según la "clasificación UPEC de los locales" - Cuaderno del CSTB N° 3509 de noviembre de 2004.**

► **Clasificación al fuego :**
- Según Euroclass Norma NF EN 14342 de agosto de 2005 : Dfl-s1
- Según DTU Reglas Madera fuego 88, anexo 4 : M4

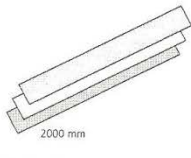
► **Los compromisos Marty :**



Texto de garantía 30 años disponible solicitándolo al servicio comercial.







Dibujo : 1 lamina
Bisel en el sentido de la longitud
Capa de uso : 3,2 mm
Soporte : plywood 5 capas, densidad 480 kg/m³
Capa de contrabalanceo : en madera resinosa

Acabados

La película seca resultante de las reacciones químicas poliuretano y UV no contiene ningún reactivo libre ni ninguna sustancia volátil (como el formaldehído).

► **Cepillado**
Esta técnica consiste en eliminar la parte blanda de la madera y, de este modo, mejorar su dureza.

► **Tonos**
Aplicación con rodillo.

► **Barniz**
3 capas de barniz poliuretano secadas con UV.

► **Barniz mate**
3 capas de barniz poliuretano secadas con UV.

Dimensiones

Grosor : 14 mm (tolerancia ± 0,2 mm)
Ancho : 125 mm (tolerancia ± 0,2 mm)
Longitud : 2000 mm (tolerancia ± 0,2 mm)
M² por paquete : 1,50
M² por palet : 84
Paquetes por palet : 56
Kg por m² : 8,10
Kg por palet : 681
Dimensiones palet en mm (Long. x Anch. x Alt.) : 2100 x 1070 x 660

Acondicionamiento

Embalaje bajo film de plástico 100% reciclable con instrucciones de colocación cada 5 paquetes. El extremo de las lamina está protegido por cantoneras de cartón. Pueden desecharse en los contenedores de reciclado de papel.

Tipo de colocación

► **Colocación flotante** según DTU 51.11 diciembre 1997.
"Colocación flotante de parquets y revestimientos de suelo encolados con pavimento de madera."

► **Colocación pegada** según DTU 51.2 agosto 1995.
"Parquets encolados".

► **Colocación sobre suelo radiante a baja temperatura** según :
- DTU 65.7 de mayo de 1993: Ejecución de suelos radiantes por cables eléctricos.
- DTU 65.14 de julio de 2006: Ejecución de suelos radiantes de agua caliente.
Colocación pegada.
Resistencia térmica máxima autorizada: 0,150 m².KW (metro cuadrado grado Kelvin por vatio).
¡ No aconsejamos la colocación de la madera jatoba sobre suelo radiante !

Mantenimiento

► **Barniz**
Aspirador / Fregona
+ Marty Cleaner + Marty Polish + Marty Décapant

► **Barniz mate**
Aspirador / Fregona
+ Marty Cleaner + Renovador Barniz mate
+ Marty Décapant

Marcado CE

Grupo CE	A7
Masa volúmica (kg/m³)	> 500
Grosor (mm)	14
Emisión formaldehído	E1
Reacción al fuego	DF-s1
Resistencia térmica (m².KW)	0,100
Resistencia a la flexión	NPD
Deslizamiento	NPD
Conductividad térmica (W/m.K)	0,14
Durabilidad biológica	Clase 1

Conforme a la norma NF EN 14342 de agosto 2005.

Parquets Marty - 47500 Cuzorn (France)
Tél. : +33 5 53 36 26 26 - Fax : +33 5 53 36 26 50 • info@parquets-marty.fr - www.parquets-marty.com



parquets encolados
RANURAS LENGÜETAS

Ilustración 13: Ficha técnica material D2



Pavimento Sintético Laminado Compacto



Barrera metálica de aluminio antihumedad.
Núcleo central compuesto por capas de papel impregnadas con resina sintética.
Papel decorativo impregnado con resina sintética.
Overlay de protección antidesgaste.

Tabla de Resistencia al Uso EN-438/EN-13329

21	Doméstico Moderado		Áreas residenciales de uso bajo o intermitente	Dormitorios	AC1
22	Doméstico General		Áreas residenciales de uso medio	Salas de estar, halls	AC2
23	Doméstico Intenso		Áreas residenciales de uso intenso	Salas de estar, halls	AC3
31	Comercial Moderado		Áreas comerciales de uso bajo o intermitente	Habitaciones de hoteles, oficinas pequeñas, boutiques de hoteles	AC3
32	Comercial General		Áreas comerciales de uso medio	Clases, oficinas pequeñas, boutiques de hoteles	AC4
33	Comercial Intenso		Áreas comerciales de uso intenso	Pasillos, almacenes, colegios, halls multiuso, oficinas diáfanas	AC5

Grado 1 Ampollas y/o delaminación
Grado 2 Cambio importante de brillo y/o color
Grado 3 Cambio moderado de brillo y/o color
Grado 4 Ligero cambio de brillo y/o color, visible bajo ciertos ángulos
Grado 5 Ningún cambio visible

EN-438 es equivalente a ISO-4586.
Criterios de Calidad s/EN-438, ISO-4586 y EN-13329

PRESENTACIÓN: CAJA DE 8 LAMAS CADA UNA, PESO BRUTO CAJA: 15 KGS., APROX. SUPERFICIE 2M² APROX.
GARANTÍA: (tiempo de vida del material) EN CONDICIONES NORMALES DE USO Y CON EL MANTENIMIENTO ACONSEJADO, EL TIEMPO DE VIDA ÚTIL QUE CABE ESPERAR, SEGUN NUESTRA EXPERIENCIA, ES SUPERIOR A 15 AÑOS EN VIVIENDAS PARTICULARES Y DE 7 EN COMERCIOS O LUGARES PUBLICOS. DEBE ENTENDERSE QUE UN TRAFICO MUY INTENSO O UN USO AGRESIVO SOBRE EL PAVIMENTO PUEDEN ACORTAR LOS TIEMPOS MENCIONADOS.

Especificaciones Técnicas

CARACTERÍSTICAS (1)	NORMA	PROPIEDADES	UNIDADES	VALORES
ESPESOR			mm	5,4 ± 0,2
PLANICIDAD 21 días en: * Humedad 85 % HR 35°C * Sequedad 30 % HR 15°C	INTERNA NUESTRO LABORATORIO	Flecha máx. T Flecha máx. T	mm/200 mm mm/200 mm	+ 0,75 - 0,50
DENSIDAD			gr/cm ³	1,43
RESISTENCIA A LA ABRASION (Taber Test)	EN-438 EN-13329	Punto Inicial (PI)	Ciclos	≥ 6.500 (ACS)
RESISTENCIA AL IMPACTO	EN-438 EN-13329	Fuerza Muelle	N	≥ 50(JC3)
RESISTENCIA TERMICA SUPERFICIAL A 180°C	EN-438	Aspecto	Grado	5
RESISTENCIA AL VAPOR DE AGUA	EN-438	Aspecto	Grado	5
RESISTENCIA A LA FLEXION, L/T	EN-438		MPa	150/120
RESISTENCIA AL CIGARRILLO	EN-438	Aspecto	Grado	5
RESISTENCIA A LAS MANCHAS	EN-438	Aspecto	Grado	5
EMISION DE FORMALDEHIDO	DIN 55666	Nivel Equilibrio	ppm	< 0,01
RESISTENCIA AL FUEGO	UNE23727	Clase		M2
RESISTENCIA A LA LUZ (XENOTEST)	ISO4892/UNE53235	Cambio Tonalidad	0	> 6
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE LAMAS	EN-13329		mm	From -0,10 max=0,15
RESISTENCIA AL ARIASTE DE UNA PAJA DE MUEBLE	EN-424	Aspecto		SIN RAYADO SUPERFICIAL
RESISTENCIA AL DESGASTE DE UNA SILLA CON RUEDAS	EN-425	Aspecto		SIN CAMBIOS VISIBLES

* Es muy más riguroso ya que se coloca agua por debajo de las lamas
Estos valores reflejan los promedios de nuestra fabricación estándar.
(1)= resultados típicos encontrados en nuestro laboratorio.
* FLINT LAMINADOS, S.L. se reserva el derecho de realizar futuras modificaciones del material, así como en la gama de colores sin previo aviso.

Ilustración 14: Ficha técnica material M2.1